

Міністерство освіти і науки України  
Чернівецький національний університет  
імені Юрія Федьковича

**І. С. Смага, В. Р. Черлінка,  
Ю. М. Дмитрук**

**ЗЕМЛЕРОБСТВО**  
**Фактори життя рослин**  
**і родючість ґрунту**

*Навчальний посібник*



Чернівці

Чернівецький національний університет  
імені Юрія Федьковича

2022

УДК 631 (075.8)+631.4:551.3

С 50

**Рецензенти:**

**М. П. Соломійчук**, кандидат сільськогосподарських наук, ст.н.с., заступник директора з наукової роботи Української дослідної станції карантину рослин ІЗР НААН;

**Р. О. Кордулян**, кандидат сільськогосподарських наук, вчений секретар Української дослідної станції карантину рослин ІЗР НААН.

С 50 **Смага І. С., Черлінка В. Р., Дмитрук Ю. М.** Землеробство. Фактори життя рослин і родючість ґрунту : навч. посібник. Чернівці : Чернівець. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2022, 128 с.

У навчальному посібнику викладені питання про фактори та умови життя рослин, наведено поняття про основні закони землеробства. Розглянуто процеси формування та найпоширеніші прийоми регулювання водного, повітряного, теплового, мікробіологічного та поживного режимів ґрунту. Розкрито сутність родючості ґрунту та охарактеризовано основні методи її відтворення та підвищення.

Для студентів агрономічних та землевпорядних спеціальностей вищих навчальних закладів, викладачів і спеціалістів відповідного профілю.

УДК 631 (075.8)+631.4:551.3

© І. С. Смага, В. Р. Черлінка,  
Ю. М. Дмитрук, 2022

© Чернівецький національний університет  
імені Юрія Федьковича, 2022

## Зміст

ВСТУП.....	5
1. ПРЕДМЕТ І ЗАВДАННЯ ЗЕМЛЕРОБСТВА .....	6
1.1. Землеробство як наука .....	6
1.2. Особливості сільськогосподарського виробництва .....	7
1.3. Короткий історичний нарис про розвиток агрономічної науки.....	10
1.4. Успіхи землеробства у світі та в Україні .....	16
1.5. Проблеми, напрямки та перспективи розвитку землеробства в Україні .....	20
2. ЗАГАЛЬНІ ЗАКОНИ ЗЕМЛЕРОБСТВА .....	24
3. ФАКТОРИ Й УМОВИ ЖИТТЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОСЛИН ТА СПОСОБИ ЇХ РЕГУЛЮВАННЯ В ЗЕМЛЕРОБСТВІ.....	33
3.1. Фактори й умови життя рослин .....	33
3.2. Світловий режим та його регулювання.....	34
3.3. Тепловий режим ґрунту та його регулювання.....	39
3.3.1. Роль тепла в житті рослин .....	39
3.3.2. Тепловий режим ґрунту .....	42
3.3.3. Регулювання теплового режиму .....	47
3.4. Водний режим та його регулювання .....	50
3.4.1. Роль і значення води в природі та ґрунтових процесах ..	50
3.4.2. Джерела надходження води в ґрунт.....	51
3.4.3. Значення та роль води в житті рослин.....	55
3.4.4. Рідка фаза ґрунту, ґрунтовий розчин.....	58
3.4.5. Форми води в ґрунті та їх доступність рослинам.....	59
3.4.6. Водні властивості ґрунту .....	68
3.4.7. Водний режим ґрунту, його вплив на ґрунтоутворення й агрономічні властивості ґрунтів.....	70
3.4.8. Основні заходи регулювання водного режиму ґрунтів...	75
3.5. Повітряний режим та його регулювання.....	77
3.5.1. Роль і значення повітря в житті рослин і ґрунтових процесах .....	77

3.5.2. Форми ґрунтового повітря та повітряно-фізичні властивості ґрунтів .....	80
3.5.3. Газообмін у ґрунті .....	84
3.5.4. Окисно-відновні процеси в ґрунтах .....	86
3.5.5. Регулювання повітряного режиму ґрунтів .....	90
3.6. Мікробіологічний і поживний режим ґрунту та їх регулювання .....	92
3.6.1. Жива фаза ґрунту, еколого-географічне розповсюдження мікроорганізмів у ґрунтах .....	92
3.6.2. Взаємозв'язок ґрунтових мікроорганізмів і рослин ..	98
3.6.3. Потреба сільськогосподарських рослин в елементах живлення .....	101
3.6.4. Типи живлення рослин .....	102
3.6.5. Азот у ґрунті та шляхи регулювання азотного режиму .....	103
3.6.6. Фосфор у ґрунті та шляхи регулювання фосфатного режиму .....	109
3.6.7. Калій у ґрунті та шляхи регулювання калійного режиму .....	112
3.6.8. Динаміка катіонів Кальцію, Магнію і Натрію в ґрунті .....	113
4. РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТУ .....	116
4.1. Фактори та закономірності природної родючості ґрунтів .....	117
4.2. Категорії ґрунтової родючості, їх суть і коротка характеристика .....	119
4.3. Підвищення родючості та окультурювання ґрунтів .....	122
4.4. Родючість різних типів ґрунтів і прийоми її розширеного відтворення .....	123
4.5. Закон «спадаючої родючості ґрунтів», його критика ....	126

## ВСТУП

Сільськогосподарське виробництво включає дві основні галузі – рослинництво і тваринництво. Завдання рослинництва – вирощування сільськогосподарських рослин, які перетворюють енергію сонячного проміння в енергію органічної речовини. Основою успішного розвитку тваринництва є міцна кормова база, створення якої неможливо без продукції рослинництва. Тому поєднання галузей рослинництва і тваринництва є основою раціональної організації та ефективного ведення сільськогосподарського виробництва.

Прогресивний розвиток суспільства ґрунтується на стабільному виробництві продуктів харчування. Основою цього виробництва виступає землеробство, яке дозволяє формувати урожаї сільськогосподарських культур, забезпечуючи населення продуктами харчування, галузь тваринництва – кормами, а переробну промисловість – сировиною.

У ранній період свого розвитку землеробство ототожнювалося з сільським господарством, а пізніше – виділилося в самостійну галузь, об'єднавши рослинництво, овочівництво, плідництво, виноградарство, лувництво тощо.

У сільському господарстві земля – це головний засіб виробництва, оскільки одночасно є і предметом, і засобом праці. Саме визначальна її властивість – родючість є основою теорії раціонального ведення землеробства. Крім того, результати землеробської праці значно залежать від природних умов.

Землеробство – це галузь господарської діяльності, де людина найбільш активно впливає на навколишнє середовище. Від цього залежить не тільки якість виробленої продукції та здоров'я людини, але й життя всього живого на землі. Тому дуже важливо розв'язати проблему підвищення стійкості землеробства, розширеного відтворення родючості ґрунту, еколого-економічного обґрунтування сільськогосподарського землекористування. Підвищення родючості ґрунтів – це основний шлях забезпечення нарощування обсягів виробництва сільськогосподарської продукції й одночасно – одна з основних проблем сучасного сільськогосподарського виробництва, зокрема – землеробства.

Розв'язанню зазначеної проблеми сприяють удосконалення зональних систем землеробства, впровадження ґрунтозахисних технологій вирощування рослин, що базуються на сучасних методологічних принципах управління родючістю ґрунту.

Як наукова дисципліна, землеробство вивчає та розробляє методи раціонального використання землі, захисту її від ерозії, одержання високих і сталих врожаїв при постійному підвищенні ефективної родючості ґрунту. Зокрема, землеробство вивчає і розробляє методи регулювання водно-повітряного, теплового, поживного режимів ґрунту з метою створення оптимальних умов росту і розвитку рослин, заходи боротьби з бур'янами, раціональні сівозміни та системи обробітку ґрунту.

# 1. ПРЕДМЕТ І ЗАВДАННЯ ЗЕМЛЕРОБСТВА

## *1.1. Землеробство як наука*

Землеробство – це галузь знань, яка зв'язує природничі дисципліни з агрономічними. До сучасного його змісту входить раціональне використання орної землі та підвищення родючості ґрунту. Для цього вдаються до *біологічних, хімічних і фізичних* методів, впливу рослин, мікроорганізмів, обробітку ґрунту, а також засобів боротьби з бур'янами.

**Отже, землеробство – це наука, яка розробляє наукові методи одержання максимально стабільних урожаїв при постійному підвищенні ефективної родючості ґрунту.**

Методи підвищення родючості ґрунту поділяються на хімічні (добрива), які розглядаються дуже ретельно в курсі агрохімії, фізичні та біологічні. Два останніх вивчають у курсі землеробства.

Землеробство є фундаментом для усіх рослинницьких дисциплін і спеціальних економічних наук. Враховуючи досягнення практики та її потреби, стан суміжних дисциплін, дослідник через гіпотезу йде до експерименту. Після наукового узагальнення та виробничої перевірки, розроблені прийоми впроваджуються у виробництво. Польовий експеримент – головний метод дослідження. Поряд з ним для виявлення закономірностей взаємодії рослин з ґрунтом і атмосферою, а також для вивчення процесів, які проходять у ґрунті, застосовуються вегетаційні та лабораторні дослідди.

**Головне завдання сільськогосподарського виробництва – це виробництво продуктів харчування для задоволення зростаючих потреб населення і сировини для промисловості.**

Більша частина рослинної сировини переробляється в продукти харчування (цукор, рослинні олії, крохмаль та таке інше). Всі продукти сільського господарства складаються з органічної речовини, яка синтезується в рослинах з речовин неорганічної природи. Синтез органічної речовини проходить із засвоєнням сонячної енергії. Враховуючи вищевикладене, можна зробити висновок, що сільськогосподарське виробництво має ряд особливостей, які відрізняють його від промислового.

## ***1.2. Особливості сільськогосподарського виробництва***

Землеробству властиві як загальні риси, характерні для кожного виробництва, так і особливості, які відрізняють його від інших виробництв.

***Першою загальною рисою землеробства необхідно назвати його розширене відтворення, тобто зростаюче виробництво продуктів харчування та сировини.***

Це зумовлюється тим, що для задоволення потреб постійно зростаючого населення (а воно зростає на Земній кулі в окремі роки більш ніж на 90 млн людей) необхідно забезпечити розширене відтворення, тобто постійне підвищення обсягів виробництва. Чисельність населення постійно зростає, а площі земель, придатних для вирощування сільськогосподарських культур, залишаються майже незмінними, складаючи 10,8% від площі суходолу Земної кулі. Більше того, зростають втрати родючих земель через опустелювання, заболочування, розвиток водної та вітрової ерозії, відчуження під житлові та промислові будови.

***Другою загальною рисою землеробства є те, що його розвиток зумовлюється науково-технічним прогресом.***

Тільки розвиток агрономічної науки та землеробської техніки здатні забезпечити підвищення продуктивності праці у землеробстві і на її основі – нарощування обсягів виробництва продуктів харчування.

Однак, поряд із загальними рисами, землеробство має певні особливості, які відрізняють його від інших виробництв. Даємо ґрунтовну характеристику цих особливостей.

**Землеробство має два засоби виробництва – ґрунт і рослину. Ґрунт, на відміну від інших засобів виробництва (машини, верстати тощо), – це не продукт людської праці, а продукт живої та неживої природи, який виник до зародження людської цивілізації і відрізняється тим, що при правильному використанні майже не зношується і не може бути заміненим іншим засобом.**

З другого боку, якщо інші засоби виробництва в процесі розвитку виробничих сил держави кількісно зростають, то площа ґрунтового покриву на Земній кулі залишається незмінною. Тому людство не може нескінченно розширювати площу ріллі

для підвищення виробництва сільськогосподарської продукції. Єдиний можливий шлях нарощування обсягів виробництва продукції землеробства – це інтенсивне використання земельних ресурсів, тобто через вкладення капіталу у виробництво.

Серед інтенсивних заходів землеробства важливе значення мають розробка і впровадження у виробництво нової *структури посівних площ сільськогосподарських культур, ефективних зональних сівозмін, раціональних систем удобрення, способів внесення добрив, заходів і систем обробітку ґрунту, меліорації та ін.* Тобто інтенсифікація землеробства передбачає підвищення його продуктивності на тій же самій земельній площі за допомогою впровадження у виробництво досягнень агрономічної науки.

Обмеженість ґрунтів, придатних для землеробства, потребує дбайливого відношення до них як з боку сільськогосподарських землекористувачів, так і промислових підприємств. Вони повинні не тільки ефективно використовувати ґрунти, а й сприяти відтворенню їх родючості.

**Другий засіб виробництва в землеробстві – це рослина, яка є живим організмом, живе короткий час і швидко поновлюється.**

При цьому тривалість життя рослин залежить не від людини, а від природи самої рослини і тих умов, у яких її вирощують.

На відміну від інших засобів виробництва, *рослина перетворює кінетичну енергію сонячного випромінювання у потенційну енергію живої речовини.* Завдяки засвоєнню рослинами сонячної енергії продовжується життя на Землі. Тому, впливаючи на умови життя рослин різними засобами землеробства, людина впливає і на своє життя.

**Друга особливість землеробства полягає в тому, що до землеробського використання залучені великі площі земель – мільярди гектарів.**

Це зумовлюється тим, що сонячна енергія розсіюється по всій Земній кулі, і щоб більше її засвоїти і перетворити на потенційну енергію живої речовини, що відбувається в процесі фотосинтезу, рослини повинні бути поширені у просторі, тобто займати велику площу.



*Третя особливість землеробства – це те, що більшість машин і знарядь у процесі виробництва не стоять на місці, а знаходяться в русі (трактори, комбайни, плуги, сівалки тощо), тому що вирощувані рослини займають великі площі.*

Зважаючи на це, машини і механізми повинні бути міцними, мобільними та високопродуктивними.

*Четверта особливість – це зональність землеробства, тобто воно має свою специфіку у кожній природно-сільськогосподарській зоні, що пов'язано зі зміною ґрунтово-кліматичних умов і рівня розвитку продуктивних сил.*

Кожній природно-кліматичній зоні властиві свої зональні сівозміни, система добрив, система обробітку ґрунту та ін. Тому в землеробстві зовсім неприпустимий шаблон.

*П'ята особливість землеробства – це те, що воно має сезонний характер, тобто виробництво ведеться не цілий рік, а в теплий період – в інтервалах визначених позитивних температур.*

Це зобов'язує землеробів чітко дотримуватись оптимальних строків проведення сільськогосподарських робіт, тому що в протилежному разі різко знижується урожайність рослин.

*Нарешті, на рівень виробництва в землеробстві дуже впливають стихійні сили природи – посухи, повені, пилові бурі, заморозки тощо.*

З цього випливає, що землеробство в кожній зоні повинно бути ґрунтозахисним і природоохоронним.

Перелічені особливості землеробства необхідно враховувати в практичній діяльності з тим, щоб підтримувати його продуктивність на високому рівні, не допускати руйнування ґрунтів і забруднення навколишнього середовища.

Завданням землеробства як галузі виробництва є підвищення родючості ґрунту, забезпечення неухильного зростання виробництва зерна, овочів, кормів та іншої продукції рослинництва на базі удосконалення структури посівних площ, впровадження науково обґрунтованих сівозмін, високопродуктивних сортів і гібридів сільськогосподарських культур, а також ефективного використання сучасної техніки, добрив, меліоративних та інших агротехнічних заходів.

### 1.3. Короткий історичний нарис про розвиток агрономічної науки

Сільським господарством людство займалося з давніх-давен. Про це є відомості у стародавнього грецького історика Геродота, який ще в 485-445 рр. до н.е. писав, що скіфи, які жили у степовій зоні сучасної України, успішно вели сільське господарство. Більше того, вони не тільки вирощували багато пшениці для власних потреб, а й продавали хліб грецьким колоніям, що були в той час поширені по берегах Чорного моря. Підтверджується це також даними археологічних досліджень.

У II та I ст. до н.е. велику роль у розвитку наукового землеробства відіграли праці великих римських мислителів Катона, Варрона, Вергілія, Колумелли. Так, перший трактат про різні галузі сільського господарства – рільництво, луківництво, виноградництво написав *Катон Старший* (II ст. до н.е.). У порадах з рільництва він відзначав, що добрий догляд за полем – **це добре орати і добре угноювати**. *Марк Теренцій Варон* (116-27 рр. до н.е.) перший оголосив землеробство наукою. В своїх творах він указував на необхідність розумного використання земельних угідь у відповідності з родючістю ґрунтів, а також висловлював думку про користь чергування культур і про раціональне сполучення рільництва та тваринництва. *Марон Публій Вергілій* (I ст. до н.е.) рекомендував застосовувати не тільки чергування культур по роках, а й періодично залишати поле під пар. *Луцій Юній Колумелла* (I ст. н.е.) виступав проти поглядів, що втомлений, виснажений ґрунт не може відновити втрачену силу без відпочинку. Він вважав, що розумна людина може допомогти її відновити внесенням гною. Крім гною, він пропонував застосовувати пташиний послід, компост, зелені та мінеральні добрива, а також землювання. Поряд з добривами у боротьбі з виснаженням і забур'яненням полів, він рекомендував проводити оранку і виступав проти мілкої обробітки сошками, які, на його думку, не оброблюють ґрунт, а тільки «кусають».

Якщо сільське господарство як практична діяльність людини існує вже кілька тисячоліть, то агрономічна наука почала розвиватися значно пізніше. Поштовхом для цього стали великі відкриття у природознавстві в кінці XVI та на поч. XVIII ст.

На базі цих відкриттів і власних спостережень французький природознавець *Бернар Паліссі* (1510-1589 рр.) написав праці про живлення рослин: рослини живляться солями ґрунту, тому гній ефективний як добриво. При внесенні його в ґрунт повертається те, що було взято раніше. Рослини після того, як вони згорають, перетворюються у солону золу або луг. До ґрунту необхідно вносити гязі, відходи, екскременти. Підсічно-вогневу систему землеробства він пояснює як захід забезпечення ґрунту поживними солями, на три століття випереджаючи в цьому питанні Ю. Лібіха. Дещо пізніше голландський природознавець *Ван Гельмонт* (1579-1644 рр.) на основі експериментальних досліджень зробив висновок про водне живлення рослин. І хоча його теорія була відхилена ученими, все ж таки вона дала поштовх для подальшого розвитку наукових основ агрономії.

Великий внесок у розвиток наукового землеробства зробили видатні російські вчені XVIII–XIX ст. М. В. Ломоносов, М. І. Афонін, А. Т. Болотов, І. М. Комов та В. Р. Вільямс, а також німецькі учені А. Теєр, Ю. Лібіх, француз Ж. Бусенго та інші.

Видатний російський учений *М. В. Ломоносов* (1711-1765 рр.) уперше пояснив походження ґрунтів, зокрема чорнозему, і показав вплив рослинності на ґрунтоутворний процес у праці **«Про шари землі»**. Він надавав вирішального значення повітряному живленню рослин, при цьому підкреслював значення ґрунту, роль органічних добрив, радив для боротьби з водною ерозією ґрунтів застосовувати оранку поперек схилу. У праці знаходимо думки про соленакопичення у ґрунтах посушливих територій. *М. Ф. Афонін* (1739-1810 рр.) був першим професором землеробства, який правильно обґрунтував рослинне походження ґрунтів, розробив заходи обробітку ґрунту, спрямовані на боротьбу з бур'янами (лущення, зяблева оранка). *А. Т. Болотов* (1738-1833 рр.) опублікував більше 300 наукових праць з різних питань агрономічної науки і практики. На основі польових дослідів, проведених у маєтку «Батищево», він уже тоді прийшов до висновків, які мають велике значення і в сучасний час. У праці **«Про удобрення земель»** (1770 р.) він уперше висловив думку про мінеральне живлення рослин, а в праці **«Про поділ полів»** (1771 р.) – обґрунтував агрономічну необхідність чергування культур при

їх вирощуванні. Остання праця була першим практичним посібником з ведення сівозмін і організації території господарства. *І. М. Комов* (1750-1792 рр.) – це перший професор землеробських наук і засновник плодозмінної системи землеробства в Росії. Він уперше висунув ідею про інтенсифікацію сільського господарства. У працях «**Про землеробські знаряддя**» (1785 р.) і «**Про землеробство**» (1788 р.) Комов узагальнив досягнення вітчизняної та закордонної агрономічної науки XVIII ст. і показав взаємозв'язок землеробства з природничими науками. Ці праці були першими навчальними посібниками із землеробства, на базі яких учились декілька поколінь спеціалістів-аграрників.

*А. Теєр* (1752-1828) – німецький учений-агроном, який висунув гумусову теорію живлення рослин. Він вважав, що рослини живляться органічними речовинами гумусу. І хоча пізніше вона не одержала підтвердження, але стала поштовхом для подальших досліджень і узагальнень у цьому питанні. Важливе значення мали праці Теєра з питань сівозмін, застосування добрив і обробітку ґрунту. *Ж. Бусенго* (1802-1887 рр.) піддав науковій критиці теорію Теєра про гумусове живлення і висунув нову – азотну теорію живлення. Встановивши, що конюшина та люцерна збагачують ґрунт Азотом (Нітрогеном), він висловив припущення, що вони одержують його з повітря. Пізніше це припущення цілком підтвердилося. *Ю. Лібих* (1803-1873 рр.) – німецький учений-агрохімік також відхилив гумусову теорію живлення рослин і в праці «**Хімія в додатку до землеробства і фізіології**» (1849 р.) висунув і обґрунтував теорію мінерального живлення рослин, яка не втратила свого значення і в наш час. Водночас Ю. Лібих вважав, що рослини забезпечують себе Азотом (Нітрогеном), засвоюючи його не тільки з ґрунту, а й з повітря. Великою заслугою Лібіха стало відкриття **закону повернення речовин до ґрунту**, на підставі якого він висунув положення, що для підтримки урожайності рослин на високому рівні необхідно вносити в ґрунт мінеральні добрива.

Особливе місце в агрономічній науці посідає професор Московського університету *М. Г. Павлов* (1793-1840 рр.). Сучасники його сприймали як основоположника теорії землеробства. Він організував під Москвою Бутирський дослідний хутір і заснував

перші публічні курси із землеробства. Для цих курсів ним написані два посібники **«Землеробська хімія»** (1825 р.) і **«Курс сільського господарства»** (1837 р.), в яких було висунуто низку цікавих ідей щодо питань сівозмін, травосіяння, вирощування картоплі та цукрових буряків. Павлов висвітлив ряд питань про роль ґрунтових процесів у живленні рослин і застосуванні добрив, а також багато зробив для введення у практику землеробства плодозміни замість трипілля. Велике значення він приділяв застосуванню на полях зелених добрив, гною, вапна, а також впровадженню глибокої оранки. *О. В. Советов* (1826-1901 рр.) був першим доктором наук кафедри сільського господарства Петербурзького університету. Завдяки його науковій діяльності почався процес диференціації землеробства з виділенням інших агрономічних наук – ґрунтознавства, агрохімії, рослинництва тощо. У докторській дисертації **«Про системи землеробства»** (1867 р.) Советов уперше дав наукове визначення поняття «система землеробства» і розкрив історію розвитку систем землеробства в залежності від природних та економічних умов держави.

*В. В. Докучаєв* (1846-1903 рр.) був засновником наукового генетичного ґрунтознавства і творцем першої наукової класифікації ґрунтів, яку розробив зі своїм кращим учнем-помічником М. М. Сибірцевим. Він відкрив **закони горизонтальної та вертикальної зональності ґрунтів** і написав класичні праці щодо походження і використання чорноземів – **«Російський чорнозем»** (1883 р.) та **«Наші степи колись і тепер»** (1892 р.). У цих працях він уперше дав правильне тлумачення про «ґрунт» і запропонував систему засобів у боротьбі з посухами, які не втратили свого значення і в наш час. *П. А. Костичев* (1846-1895 рр.) був першим творцем агрономічного напрямку в ґрунтознавстві і засновником ґрунтової мікробіології. П. А. Костичев розробив систему обробітку ґрунту для степових районів, яка спрямована на боротьбу з посухами, показав велике значення багаторічних трав у поліпшенні структури і фізичних властивостей ґрунту. При цьому велике значення він приділяв введенню чорного пару на чорноземах, як найбільш ефективного способу очищення полів від багаторічних бур'янів і підтримання верхнього шару ґрунту

в пухкому стані для порушення капілярного зв'язку з нижніми шарами і зменшення випаровування вологи.

*В. Р. Вільямс* (1863-1939 рр.) розробив теорію про єдиний ґрунтотворний процес. Крім того, важливе значення мають його дослідження гумусових речовин і ролі біологічних факторів у процесах ґрунтоутворення. *Він розробив і обґрунтував травопільну систему землеробства, розкрив важливу роль багаторічних трав у підвищенні родючості ґрунтів нечорноземної зони.* Поряд з цим Вільямс зробив вагомий внесок у розробку систем обробітку ґрунту, особливо зяблевого, а також прийомів поліпшення кормових угідь. Він був великим знавцем землеробства, але водночас допускав і деякі помилки. Серед них – негативне ставлення до застосування мінеральних добрив, вимога посіву ярої пшениці після багаторічних трав, яка давала значно менший урожай, ніж озима пшениця, а також шаблонне розповсюдження травопільної системи землеробства в усіх природно-кліматичних зонах.

Великий внесок у розвиток наукового землеробства і його практичних прийомів зробили вчені України. Серед них особливої уваги заслуговують праці видатних дослідників: П. В. Будріна, П. Ф. Баракова, О. О. Ізмаїльського, М. А. Єгорова, О. І. Дущечкіна, Б. М. Рожественського, М. М. Кулешова та інших.

*П. Ф. Будрін* (1857-1939 рр.) – професор Новоолександрійського (згодом Харківського) сільськогосподарського інституту, який протягом 12 років (1882-1893 рр.) читав курс землеробства. Цей видатний учений розробив сидеральну систему землеробства, травосіяння, сівозміни. Він висловлював думку про необхідність застосування мертвих і живих куліс, чорного та раннього парів, а також плоскорізних знарядь у землеробстві посушливої зони України. П. Ф. Будрін був першим ученим, який застосував люпин на зелене добриво і напівпаровий обробіток ґрунту під ярі культури. *П. Ф. Бараков* (1858-1919 рр.) у 1895 р. очолив кафедру землеробства Новоолександрійського сільськогосподарського інституту. Свої зусилля в інституті перш за все спрямував на написання підручника із загального землеробства. Перша частина підручника **«Природно-історичні фактори росту урожайності сільськогосподарських рослин»** вийшла в 1903 р., а друга

**«Технічні фактори росту і урожайності сільськогосподарських культур»** – у 1905 р. У підручнику П. Ф. Бараков узагальнив майже всі питання землеробства свого часу. Особливе значення мають дослідження Баракова про виділення рослинами вуглекислоти та її ролі в кореновому живленні. *О. О. Ізмаїльський* (1851-1914 рр.) провів широкі дослідження з питань водного режиму ґрунтів Херсонської губернії, на основі яких прийшов до висновку, що глибока оранка має велике значення у боротьбі з посухою. Особлива заслуга *О. О. Ізмаїльського* полягає в розробці агротехнічних прийомів боротьби з посухами в умовах південного степового землеробства.

*М. А. Єгоров* (1879-1942 рр.) – професор агрономії і відомий спеціаліст у галузі агрохімії. Йому належить встановлення високої ефективності фосфорних добрив на чорноземах. Поряд з цим *М. А. Єгоров* вивчав різні типи парів, їх удобрення, травосіяння, сортові особливості вівса, показники окультуреності чорноземів. *О. І. Душечкін* (1874-1956 рр.) – професор, завідувач кафедри агрохімії Київського сільськогосподарського інституту. Основні його дослідження були присвячені вивченню форм і динаміки поживних речовин ґрунту, їх вплив на якість урожаю. Вивчав процеси нітрифікації, а також природу фосфорнокислих добрив і наукові основи їх застосування в Україні; теоретично обґрунтував необхідність ранньовесняного підживлення озимих хлібів азотними добривами; *Б. М. Рожественський* (1874-1943 рр.) – був засновником Харківської дослідної станції; багато приділяв уваги організації селекційної роботи, розробці методики польових досліджень у землеробстві, вивчав ефективність травопільних сівозмін, попередників і обробітку ґрунту на чорноземах; *М. М. Кулешов* (1890-1968 рр.) – професор, академік, провів багато досліджень у галузі біології, систематики, екології та агротехніки озимої пшениці, кукурудзи та інших сільськогосподарських культур. *С. С. Рубін* (1900-1985 рр.) вивчав питання підбору попередників для основних культур сівозмін, структури посівних площ для господарств різної спеціалізації, обробітку ґрунту під озими та ярі культури, боротьби з бур'янами та ін. *Ф. А. Попов* (1900-1988 рр.) зробив помітний внесок у розвиток наукових і практичних питань обробітку ґрунту.

Після другої світової війни в Україні значну увагу було приділено вивченню теорії та практики обробітку ґрунту в різних ґрунтово-кліматичних зонах (О. Ф. Глянцев, В. М. Круть, О. М. Можейко, В. В. Медведєв); усебічному обґрунтуванню сівозмін, розробці їх класифікації та раціональних схем чергування культур для різних ґрунтово-кліматичних зон (В. О. Пастушенко, І. С. Годулян, Р. С. Литвинюк); вивченню природи та характеру розвитку бур'янів, на основі чого було розроблено ряд заходів боротьби з ними, в тому числі шляхом застосування гербіцидів (В. І. Веселовський, А. В. Фісюнов, О. М. Можейко, В. П. Ступаков, В. В. Милий, М. С. Кравченко); розробці теорії та практики застосування безплужного ґрунтозахисного плоскорізного обробітку ґрунту на чорноземах України (М. К. Шикіла, Ю. В. Бурдьянний, О. М. Заяц); вирішенню різних питань обробітку ґрунту в інтенсивному землеробстві та технології вирощування сільськогосподарських культур (В. П. Гудзь); вивченню і впровадженню у виробництво ґрунтозахисної системи обробітку ґрунту в посушливих південних районах (І. Є. Щербак); розробці наукового обґрунтування агроекологічного ґрунтозахисного землеробства, особливо його головної ланки контурно-меліоративної організації території (О. Г. Тарарико) та біологічного землеробства (М. К. Шикіла, В. І. Кисіль).

#### **1.4. Успіхи землеробства у світі та в Україні**

Лауреат Нобелівської премії акад. М. М. Семенов вважав, що Земля здатна прогодувати все людство, без скорочування народжуваності. З одного гектара землі можна одержати приблизно 15 т кормових одиниць, які дадуть 1,5 т продуктів тваринництва та 6 т – рослинництва. Середній раціон людини в день складає 1 кг сухих речовин: 750 г рослинної та 250 г тваринної їжі. Основними речовинами, які входять до складу продуктів харчування, є білки, жири та вуглеводи. Загальна калорійність їжі для дорослої людини в день у середньому повинна складати 3000-3500 ккал (12550-14650 кДж). Білків має бути 110 г, жирів – 100-120 г, вуглеводів – 440-450 г (1 г білка містить 4,1 ккал (17 кДж), 1 г жиру – 9,3 ккал (39 кДж), 1 г вуглеводів – 4,1 ккал (17 кДж)).



Одночасно з акумуляцією енергії рослини накопичують у собі і дуже важливі біоелементи. Одним із найважливіших завдань землеробства є забезпечення умов для кращої мінералізації рослинних решток, посилення кругообігу органічних елементів та повторного їх використовуються рослинними організмами. Так створюється малий біологічний кругообіг речовин.

За даними ФАО, на земній кулі площа орних земель складає 1,5 млрд га, а під луками та пасовищами зайнято 2,2 млрд га. Приблизні підрахунки, зроблені експертами ООН, показують, що потенційно придатна для оранки земель площа може бути доведена до 3,2 млрд га (близько 25% суходолу).

Сьогодні населення земної кулі приблизно складає 7,5 млрд осіб. Кожен рік його приріст, за даними ЮНЕСКО, коливається в межах 70-90 млн осіб. Однак, у деяких країнах площі орної землі не тільки не збільшуються, а навіть зменшуються у зв'язку з відводом земель під міські будівлі та промислові об'єкти. Деяка частина орних земель випадає з користування внаслідок розвитку ерозії, вторинного засолення та заболочення ґрунтів при зрошенні. Тому використовувати земельні ресурси необхідно економічно вигідно і раціонально. Це стосується перш за все територій, які придатні для землеробства.

Україна за площею сільськогосподарських угідь (42 млн га) входить до 12 найбільших країн світу. Але як в Україні, так і в інших країнах світу спостерігається тенденція до зменшення площі орних земель з розрахунку на душу населення. Наприклад, в 1975 р. в Україні на 100 осіб припадало 69 га ріллі, в 1985 р. – 67 га, в 1993 р. – 64 га. Фактор обмеженості земель діє як у просторі, так і в часі. Проте ще більше обмежені земельні ресурси високої природної родючості (табл. 1).

В Україні найпоширенішими ґрунтами на орних землях є чорноземи (опідзолені, вилуговані, типові, звичайні, південні), що складає 62,2%, але вони обмежені такою властивістю землі, як *постійністю місця*. Ліпші за природною родючістю і місцезнаходженням (стосовно пунктів реалізації продукції та матеріально-технічного постачання) ділянки *не можна вільно перемістити в просторі*, на відміну від більшості інших засобів вироб-

ництва. Тому володіння землями вищої природної продуктивності створює переваги щодо умов ведення землеробства.

Таблиця 1

*Структура ґрунтового покриву України  
та ступінь його розораності (за А. М. Третяком, 1998)*

Ґрунти	Площа ґрунтів		Розораність	
	тис. га	%	тис. га	%
Дерново-підзолисті супіщані та глинисто-піщані	1573,0	3,5	1015,0	3,5
Дерново-підзолисті оглеєні	1916,9	4,3	1140,7	3,6
Сірі лісові	7924,0	17,8	6719,1	21,3
<b>Чорноземи типові на лесах</b>	6272,2	14,1	5731,4	18,1
Чорноземи звичайні на лесах	10395,0	23,4	8760,0	27,7
Чорноземи південні переважно на лесах	6237,9	14,1	4662,4	14,2
Лучно-чорноземні переважно на лесах	1124,9	2,5	700,7	2,2
Темно-каштанові й каштанові на лесах	1489,9	3,4	1241,0	3,9
Лучні переважно на алювії	1936,1	4,4	663,0	2,1
Болотні, торфово-болотні і торфовища	2061,8	4,6	78,5	0,2
Солонці та осолоділі	537,8	1,2	256,1	0,8
Дернові	1627,1	3,7	396,3	1,3
<b>Буроземні, дерново-буроземні</b>	956,4	2,2	192,7	0,6
Коричневі гірські, гірсько-лучні	41,8	0,1	7,2	0,1
Виходи порід та зольники	311,0	0,7	21,6	0,1
<b>Разом</b>	44406	100	31586,3	99,9

Площа орних земель дорівнює 31,6 млн га (табл.1), з них на одну людину припадає 0,65 га.

Разом з тим, площі змитих земель складають 9,9 млн га (28,9% орних земель), заболочених і перезволожених 2,6 млн га (7,6%), засолених і солонцевих – 2,6 млн га (7,6%). На значних площах поширені зрошувані (2,2 млн га) та осушені (2,8 млн га) землі.

Винятково сприятливі природно-кліматичні умови, багаті земельні ресурси (чорноземні, лучно-чорноземні та сірі лісові ґрунти) дозволяють Україні бути одним з найбільших світових

виробників сільськогосподарської продукції. Однак, ці ґрунти значно знизили свою продуктивність внаслідок тривалого нерационального використання.

У суспільстві існує думка про унікальні можливості українського чорнозему. Але врожаї зернових культур є нижчими, ніж у країнах з аналогічними чи навіть гіршими ґрунтово-кліматичними умовами, він легко піддається ерозії та ущільненню, його основні властивості не відповідають оптимальним для більшості сільськогосподарських культур.

Вміст елементів живлення у чорноземах України в 2,5-3 рази нижчий, ніж у ґрунтах Західної Європи. Там період хімізації триває 100-150 років, а у нас – лише впродовж 1965-1990 рр. Наприклад, в Англії є ґрунти з вмістом 40-60 мг  $P_2O_5$  і  $K_2O$  на 100 г ґрунту. В Україні навіть у роки, найсприятливіші для розвитку сільськогосподарського виробництва, вносилося не більше 8 т/га органічних добрив, а для забезпечення бездефіцитного балансу гумусу в ґрунті необхідно вносити 15-18 т/га, 12-14 т/га і 10-12 т/га в Поліссі, Лісостепу та Степу відповідно. Нині в Україні потреба в мінеральних добривах забезпечується в середньому на 10%, органічних – 20%. Дуже низькою залишається й окупність добрив. В Україні на 1 т діючої речовини добрив отримують 14,8 т зерна, тоді як у США – 36,4 та у Франції – 22,9 т. На відміну від українських реалій, у світі вже чимало дослідних станцій та передових господарств одержують урожаї зернових на рівні 6-7,5 т/га.

Теоретичні й експериментальні дослідження в польових умовах показують, що резерви зростання врожаїв досить значні, якщо забезпечити правильне управління агроecosистемами й оптимізувати ґрунтові режими (табл. 2).

Таблиця 2

**Потенційно можливі врожаї зернових культур (В. А. Ковда, 1985)**

Культура	Врожай, т/га	Культура	Врожай, т/га
Кукурудза (при 15,5% вологи)	22,1	Рис (сирець, при 14% вологи)	13,0
Сорго	20,0	Ячмінь	11,4
Пшениця	14,1	Овес	10,6

### *1.5. Проблеми, напрямки та перспективи розвитку землеробства в Україні*

**Проблеми землеробства.** У ринкових умовах ведення агропромислового виробництва зростає протиріччя між економікою й екологією. Конкуренція та інші чинники заставляють землекористувачів знижувати затрати на одиницю продукції за рахунок ефективнішого використання техніки і технологій.

Використання недосконалих, незбалансованих технологій у сфері сільського господарства спричинює високе навантаження на навколишнє середовище, переущільнення та перезволоження ґрунтів, розвиток водної та вітрової ерозії, забруднення ґрунтів і ґрунтових вод поживними речовинами, й агрохімікатами. Людина повинна задуматися про умови життя прийдешніх поколінь.

Необхідно запроваджувати екологічні підходи до господарювання на землі. Ефективне ведення сільського господарства можливе тільки в єдності з охороною навколишнього природного середовища, на принципах збереження і підвищення якості землі, з одночасною охороною водних та інших природних ресурсів.

Серед істотних проблем у землеробстві України доцільно звернути увагу на наступні:

- шаблонне застосування агротехніки та технологій вирощування сільськогосподарських культур на всій території держави;
- порушення оптимальних співвідношень між органічними та мінеральними добривами в бік мінеральних у системах удобрення культур;
- впровадження структури посівних площ без урахування ерозійних процесів;
- на осушених і зрошуваних землях порушення агротехніки, системи внесення добрив, необґрунтоване використання технічних засобів;
- нестача ґрунтооброблювальної малогабаритної техніки, яка відповідала б формам господарювання на землі (ферми, особисті селянські господарства) з урахуванням ґрунтового покриву;

- організаційно-правові, які визначають умови оренди, чи купівлі землі, створення фермерських, орендних та інших господарств.

**Напрямки розвитку землеробства.** Продукції рослинництва необхідно виробляти стільки, скільки потрібно, і належної якості. Проведені розрахунки свідчать, що для задоволення потреб населення в продуктах харчування за раціональними нормами харчування й при відповідному експорті в Україні необхідно обробляти 22,6-24,2 млн га ріллі, тобто майже 10 млн га можливо вилучити з обробітку. Однак розрекламовані наміри Держкомзему щодо виведення з обороту і заліснення 10 млн га орних земель не спрацювали через нестачу коштів.

Важливим завданням залишається переведення деградованих малопродуктивних орних угідь у природні кормові, багаторічні деревні та кущові насадження, що дасть змогу оптимізувати структуру агроландшафтів схилових земель, поліпшити малопридатні для землеробства ґрунти і зменшити розораність сільськогосподарських угідь в Україні з 82 до 57%.

Наукою та виробництвом визначені основні напрямки забезпечення економічно ефективного й екологічно обґрунтованого землекористування:

- використання різних видів сівозмін, які відповідають регіональним, кліматичним і ґрунтовим умовам;
- перехід від традиційного обробітку ґрунту до його мінімалізації, від інтенсифікації землеробства до біологізації та екологізації з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов;
- оптимізація доз, строків і способів внесення добрив, попередження забруднення агрохімікатами ґрунтів і продукції;
- регулювання кількості вологи в ґрунті за допомогою комплексу меліоративних і агротехнічних заходів;
- економічно й екологічно обґрунтований захист ґрунтів від переущільнення, перезволоження й ерозійних процесів і охорона ґрунту, ґрунтових і поверхневих вод від забруднення;
- інтегрований захист рослин, що передбачає широке впровадження переваг і можливостей сівозмін, сортів

рослин, обробітку ґрунту, біологічних засобів захисту рослин, з обов'язковим урахуванням порогів шкідливості небезпечних для рослин організмів.

Головним завданням залишається забезпечення при вирощуванні сільськогосподарських культур екологічно й економічно збалансованого виробництва продукції, що означає підвищення родючості ґрунтів і рівня рентабельності виробництва. Це забезпечується внесенням доз добрив відповідно до потреби рослин і ґрунту, оптимізацією захисту рослин тощо.

**Перспективи розвитку сільськогосподарського виробництва в Україні.** Покращення життєвого рівня людини пов'язане з підвищенням обсягів виробництва продукції сільського господарства. Це завдання вирішується шляхом інтенсифікації, яка охоплює комплексну механізацію, хімізацію та меліорацію.

Головні завдання сільськогосподарського виробництва та землеробства зокрема на сучасному етапі такі:

- організація господарювання на селі на основі різних форм власності;
- підвищення ефективності використання осушених і зрошуваних земель з урахуванням особливостей ґрунтового покриву та кліматичних умов;
- підвищення ефективності хімізації з урахуванням особливостей ґрунту, сільськогосподарської культури, кліматичних і погодних умов, меліоративного стану та екологічних умов;
- створення вітчизняної малогабаритної техніки для обробітку ґрунту та збирання врожаю, розробка енергозберігаючих систем обробітку ґрунту;
- посилення спрямованості землеробства на біологізацію й екологізацію, оптимізацію водно-повітряного та поживного режимів ґрунтів.

### ***Контрольні питання***

- 1. Зелена рослина як засіб виробництва в сільському господарстві.*
- 2. Особливості сільськогосподарського виробництва.*
- 3. Схарактеризуйте землеробство як науку, його основні положення.*
- 4. Обґрунтуйте зв'язок землеробства з іншими науками і назвіть основні розділи землеробства.*
- 5. Дайте коротку характеристику основних етапів розвитку землеробства.*
- 6. Чому ґрунт є основним засобом виробництва у сільському господарстві?*
- 7. Обґрунтуйте успіхи землеробства у світі та в Україні.*
- 8. Виділіть основні проблеми землеробства та перспективи їх розв'язання в Україні.*

## 2. ЗАГАЛЬНІ ЗАКОНИ ЗЕМЛЕРОБСТВА

Розвиток наукового землеробства привів до відкриття законів, які відображають взаємозв'язки не тільки між ґрунтом, рослинами і навколишнім середовищем, а й між ними і людиною, яка впливає на них у процесі сільськогосподарського виробництва.

**Закон мінімуму або обмежуючого фактора.** У результаті вивчення реакції рослин на окремо взяті умови життя при незмінній кількості всіх останніх було встановлено, що кожна послідовна однакова доза випробуваного фактору дає значно меншу прибавку врожаю, ніж попередня. На базі висновків з цих дослідів був сформульований *закон мінімуму*, яким установлювалась залежність рівня врожаю від фактору, який знаходиться у відносному мінімумі. Закон мінімуму відомий в агрономічній літературі як закон мінімуму Лібіха, або закон обмежуючого фактору.

У практиці землеробства дуже часто зустрічаються випадки, коли такий фактор різко знижує ефективність дії інших. Наприклад, Д. М. Прянишников установив, що без усунення кислій реакції ґрунту внесення будь-яких добрив не дає можливості отримати високу урожайність більшості культур. Із задоволенням потреб рослини в недостатньому факторі врожай підвищується доти, доки не буде обмежений другим фактором, який стане мінімальним. Наочно цей закон зображений у вигляді бочки, дощечки якої визначають різні фактори життя рослин (рис. 1).

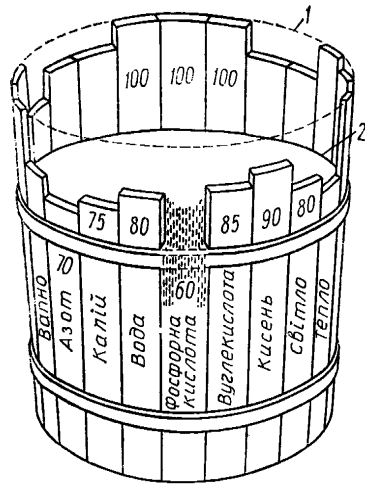


Рис. 1. Графічне зображення, яке ілюструє дію закону мінімуму (бочка Добенка):  
1 – максимально можливий урожай;  
2 – фактичний урожай



Ю. Лібіх сформулював закон мінімуму так.

**«Продуктивність поля знаходиться в прямій залежності від необхідної складової частини елементів живлення рослин, яка є в ґрунті у мінімальній кількості».**

Він вважав, що *прибавка прямо пропорційна збільшенню вмісту елементів живлення, які знаходяться в мінімальній кількості*. Пізніше Лібіх визнав понижуючий ефект однакових доз добрив, інших факторів.

Ю. Лібіх розробив теорію мінерального живлення рослин, яка послужила поштовхом не тільки в питанні застосування мінеральних добрив, але і в дослідженні фізіологічних процесів у рослинах. За 70 років до Лібіха такі погляди поділяв Болотов, він рекомендував широко застосувати не тільки мінеральні, але й органічні добрива. Крім гною та компостів, добривами можуть бути попіл, листя з дерев, гіпс, вапно, селітра, незібрана стерня, болотне та ставкове баговиння, торф, зелені добрива, відходи виробництва.

Питання використання добрив, вивчення родючості ґрунту на окремих етапах розвитку землеробства в різних країнах вирішувались неоднаково.

В Америці вивчення питання застосування добрив пов'язували з пізнанням гранулометричного складу та механічних властивостей ґрунту, які впливають на врожай; у гірських країнах – з визначенням геологічних умов місцевості; в країнах Європи, зокрема в Німеччині, – з пізнанням хімічного складу ґрунту тощо. Спільним було те, що на ґрунт дивилися як на кору вивітрювання, місткість елементів живлення, «комору» основних елементів: Азоту (Нітрогену), Фосфору, Калію.

$$Y=A \cdot x$$

*Y* – урожай;

*x* – кількість елементів живлення;

*A* – коефіцієнт пропорційності для даного добрива.

Крім того, Лібіх розглядав потреби рослин в елементах живлення окремо по кожному елементу і не бачив необхідності у взаємозв'язках між ними, тобто те, що при наявності в оптимальних кількостях других елементів рослина мінімальний елемент використовує більш економно.

#### **Закон мінімуму, оптимуму та максимуму.**

У вегетаційних дослідях Гельрїгеля порівнювався вплив різної вологості ґрунту на врожай наземної маси ячменю. Найвищий урожай отримали при вологості ґрунту 60% від повної його вологоємності. Якщо ґрунт був сухим, а також якщо він повністю був залитий водою врожай дорівнював нулю. На базі цього та інших подібних дослідів Сакс сформулював закон *мінімуму, оптимуму та максимуму*.

*Його значення полягає в тому, що найбільший врожай можна одержати при оптимальній кількості фактору: зменшення або збільшення його веде до зниження врожаю.*

Цей закон добре ілюструється також результатами дослідів, де були випробувані дози Азоту (Нітрогену), починаючи з крайньої нестачі до великого надлишку (К. А. Блэк, 1973 р.) (рис. 2). Найвищу продуктивність отримано при дозі 7,5 г сульфату амонію на посудину, а подальше її зростання різко знижувало урожайність. Отже, наведений вплив елементів живлення та й інших факторів у загальному вигляді описується параболою (рис. 3). З її рівняння, а особливо з рисунка видно, що кожний наступний рівновеликий вплив елемента в інтервалі від мінімального до

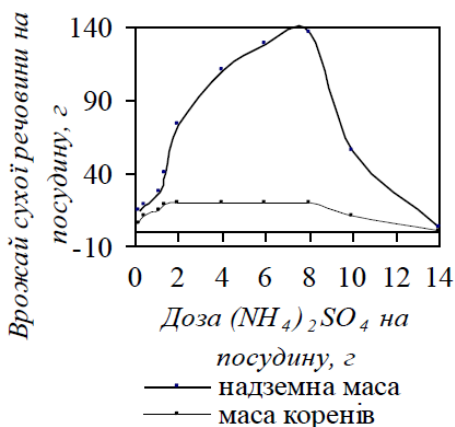


Рис. 2. Врожай надземної маси та коренів вівса при різних дозах сульфату амонію (К.А.Блэк, 1973)

оптимального значення супроводжується все меншим і меншим приростом урожаю, а в інтервалі від оптимального до максимального значення – наростаючим зниженням врожаю.

**Закон незамінності (жодний фактор життя рослин не може бути замінений іншим) і рівнозначності факторів життя рослин.**



Рис. 3. Параболічна крива:

$$y=A \cdot (1-10^{-cx}) \cdot 10^{-cx^2}$$

Він свідчить про те, що в різних кількостях усі фактори однаково необхідні для рослин. Цей закон сформульовано В. Р. Вільямсом. Закон незаперечний, але було чимало спроб його ревізії, хоч і невдалих. Так, мали місце твердження, нібито Калій можна замінити Натрієм, а вапно – Магnezіумом. Насправді ж було лише доведено, що під впливом Натрію ліпше використовується Калій з ґрунту, тобто збільшується вміст Калію в рослинах. Окрім того, Натрій посилює його рухливість і в самій рослині.

Але при оцінці впливу різноманітних факторів на рослини не можна забувати про те, що жоден з них не впливає окремо, а має місце їх інтегральний ефект, що відображає **закон сукупної дії факторів**, відкритий наприкінці XIX ст. німецьким ботаніком Лібшером. Підтвердженням його є висновок О. О. Зіганшина та Л. П. Шарифулліна (1974 р.) про те, що

***оптимізація факторів життя рослин дозволяє більш продуктивно використовувати не тільки ті, які знаходяться в мінімумі, але й ті, що присутні в достатній кількості.***

Е. А. Мітчерліх (цит. за: В. Д. Мухой, И. С. Кочетовым, Д. В. Мухой, В. А. Пелипцем, 1994) доповнив визначення Ліб-

шера та виразив його математично:  $\frac{dy}{dx} = (A - Y) \cdot C$ , де  $C$  – коефіцієнт пропорційності.

З графічного зображення (рис. 4) видно, що *урожай рослин (Y) підвищується з посиленням впливу якого-небудь фактору росту (X) пропорційно величині урожаю, якої не вистачає до максимального урожаю (A).*

**Закон повернення поживних речовин** висловлений свого часу Ю.Лібихом, полягає в тому, *що треба поповнювати в ґрунті запаси поживних речовин, які витрачаються на створення врожаю (і виносяться ним), вимиваються тощо.*

У інтенсивному землеробстві у зв'язку з підвищенням урожайності культур і збільшенням виносу поживних речовин з ґрунту значення цього закону зростає.

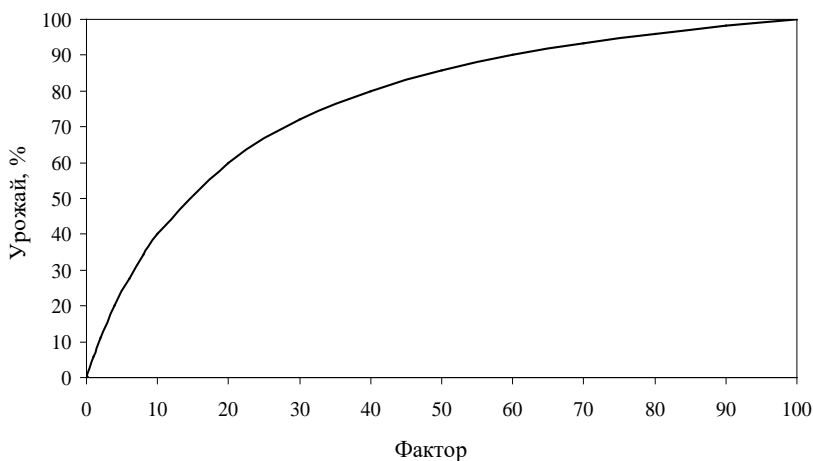


Рис. 4. Закон сукупної дії факторів  
(цит. за В.Д.Мухой и др., 1994)

**Закон прогресивного зростання ефективної родючості ґрунту в інтенсивному землеробстві.**

*Основою прогресу в сільському господарстві є те, що ґрунт, якщо правильно здійснювати агротехнічні заходи, помітно поліпшується, тобто зростає його родючість та ефективність сільськогосподарського виробництва.*

Землю можна поліпшувати за допомогою хімічних засобів та обробітку. Завдяки інтенсифікації з того самого поля збирають вищі врожаї. У процесі виробництва, якщо воно ведеться раціонально, земля не зношується, як інші засоби виробництва (машини тощо), а навпаки, поліпшується, і саме це є теоретичною основою невинного прогресу в сільському господарстві.

**Закон плодозміни.** У природних умовах рослинні угруповання (фітоценози) містять у собі різні в біологічному і фізіологічному відношенні рослини. Розмаїтість видового складу фітоценозу надає йому продуктивності, тому що тільки при цьому він тісніше взаємодіє з ґрунтом.

При вирощуванні культурних рослин динамічний комплекс природної рослинності руйнується і створюється новий, більш спрощений із вирощуванням однієї або двох-трьох культур на полі в один рік із чергуванням їх по роках. Внаслідок цього виникає диспропорція між нагромадженням і споживанням поживних речовин, порушується водний баланс у ґрунті.

Практика землеробства показала, що, правильно підібравши культури, визначивши порядок їх чергування в часі, можна усунути або послабити вказані негативні явища й уникнути зниження урожайності.

*Отже, закон плодозміни полягає в тому, що для повної реалізації біологічного потенціалу рослин у землеробстві необхідна плодозміна, тобто чергування культур за часом (по роках) і в просторі (на полях).*

Крім цих основних законів землеробства, є ще й інші, а саме: закон критичних періодів, закон фізіологічних годин, закон екологічної відповідності між суспільством, виробництвом і природним середовищем.

Суть закону критичних періодів полягає в тому, що:

*продуктивність рослин залежить, у першу чергу, від забезпечення всіма необхідними факторами життя у достатній кількості у критичні періоди їх розвитку, наприклад у період утворення репродуктивних органів.*

В окремих випадках можливий вплив на рослину токсичних факторів, закономірність впливу яких на ріст і розвиток рослин дещо відрізняється від параболічної (рис. 5). З їх наростанням

або досягненням деякого критичного значення проходить зниження продуктивності і загибель рослин (Б. А. Никитин, 1981). Прикладом є підвищений вміст рухомих форм Алюмінію в ґрунтах, які порушують фосфатний обмін у рослинах, знижують утворення хлорофілу та активність різноманітних ферментів (И. И. Назаренко, 1981).

Згідно із законом фізіологічних годин:

*рослини ростуть і розвиваються за певними біоритмами, або фізіологічними годинами, що дуже пов'язані з космічними змінами. Вони чутливо реагують на продовження дня і ночі, а точніше – на продовження інтенсивності сонячної радіації.*

Суть закону екологічної відповідності між суспільством, виробництвом і природнім середовищем полягає в тому, що:

*антропогенне навантаження на природні ресурси не повинно перевищувати рівні, за межами яких порушується рівновага в природі.*

Порушення цього веде до зниження продуктивності виробництва і стійкості біоекономічної системи: людина – виробництво – природні ресурси.

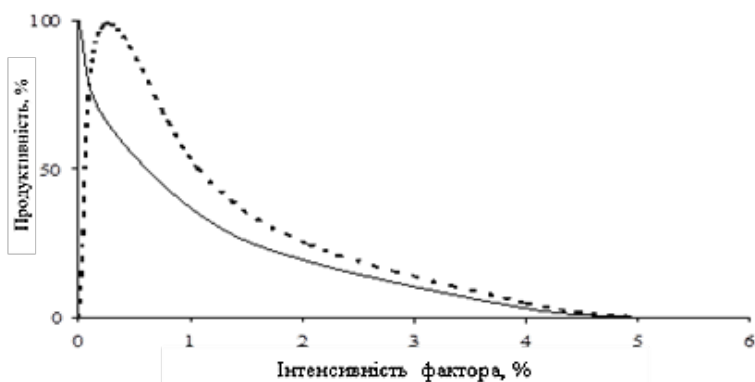


Рис. 5. Вплив токсичних факторів на продуктивність рослин (Б.А.Никитин, 1981)

Розглянуті основні закони землеробства необхідно використовувати при розробці і впровадженні заходів, спрямованих на одержання високих урожаїв з найменшими затратами коштів при

постійному збереженні та підвищенні родючості ґрунту. Зазначимо, що обов'язково потрібно врахувати всі закони землеробства. Не можна ігнорувати жодного з них. Наприклад, закон сукупної дії факторів аж ніяк не заперечує, а, навпаки, передбачає забезпечення рослин насамперед обмежуючим фактором, тобто він не відкидає закону мінімуму.

Важливо враховувати закони землеробства при моделюванні ґрунтової родючості. Запропоновані раніше моделі родючості та її факторів не в повній мірі відповідають основним законам землеробства та вимогам сільськогосподарських культур до факторів життя, у більшості випадків не враховують усі показники, які впливають на урожайність, що не дозволяє в повній мірі оцінити ґрунт стосовно рівня його родючості. Серед відомих моделей, у яких продуктивність культур представлена як функція ґрунтових параметрів, найпоширенішими є моделі на основі кореляційно-регресійного аналізу. Зовсім відмінний від попереднього шлях моделювання, який ґрунтується на тому чи іншому виді бонітування (Н. Ф. Бондаренко, Б. В. Железний, 1986). Однак усі ці підходи не враховують вимог окремих видів культурних рослин до факторів життя, тобто є агроекологічно необґрунтованими і на думку окремих авторів (Л. Л. Шишов, Д. Н. Дурманов, В. В. Ефремов, 1991) не можуть розглядатися як інтегральні моделі ґрунтової родючості. Крім того, більшість з них не відповідають основним законам землеробства, згідно з якими здійснюється формування урожаю та еволюція ґрунтової родючості (В. Д. Муха, И. С. Кочетов, Д. В. Муха, В. А. Пелипец, 1994).

Створення агроекологічних моделей родючості можливе на основі узагальненого показника родючості ґрунтів (УПРГ), який розраховується усередненням перетворених показників оцінок окремих факторів за формулою гармонійного середнього. При цьому враховуються закони землеробства: незамінності та рівнозначності факторів; обмежуючого фактора; мінімуму, оптимуму і максимуму; сукупної дії факторів і критичних періодів. Отримана модель надає можливість формалізованого математичного опису та дозволяє оцінювати продуктивність ґрунту в аспекті агроекологічних вимог певної культури, а також може використовуватися з прогностичною метою (В.Р.Черлінка, 2001).

### ***Контрольні питання***

- 1. Обґрунтуйте закон мінімуму або обмежуючого фактора, його критика.*
- 2. Закон мінімуму, оптимуму та максимуму. Його сутність.*
- 3. Обґрунтуйте закон незамінності і рівнозначності факторів життя рослин та їх інтегральний ефект.*
- 4. Закон повернення поживних речовин, його сутність.*
- 5. Обґрунтуйте закон прогресивного зростання ефективної родючості ґрунту в інтенсивному землеробстві.*
- 6. Закон плодозміни і застосування його в практиці землеробства.*
- 7. Визначте суть закону критичних періодів у сільськогосподарських рослин.*
- 8. Закон екологічної відповідності між суспільством, виробництвом і природним середовищем, його сутність.*
- 9. Установіть зв'язки між моделями родючості та її факторами й основними законами землеробства.*



### 3. ФАКТОРИ Й УМОВИ ЖИТТЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОСЛИН ТА СПОСОБИ ЇХ РЕГУЛЮВАННЯ В ЗЕМЛЕРОБСТВІ

#### 3.1. Фактори й умови життя рослин

Вирощувані людиною рослини дають два продукти – ринковий та неринковий. Перший (зерно, бульби, коренеплоди) повністю виноситься із господарства, а другий (солома, гичка, бадилля) – залишається на полі.

Основна увага хлібороба зосереджена на вирощуванні ринкового продукту в максимально великій кількості. Тепер є сорти соняшника, які мають вміст олії більше від 50%, а сорти цукрового буряка – до 24% цукру. Для кожного виду культурної рослини або сорту необхідно створити оптимальні умови життя, які регулюються агротехнікою, добривами, строками вирощування та іншим.

Вимоги рослин до факторів життя визначаються їх спадковістю, тому вони різні для кожного виду, сорту. Ось чому вивчення вимог дає можливість не тільки ліпше їх забезпечити, але й правильно встановити структуру посівних площ, чергування культур, розміщення сівозмін.

Для нормальної життєвої діяльності рослин необхідні відповідні або визначені фактори й умови життя: 1) *світло* – визначеної якості і в певний час для вирощуваної рослини; 2) *тепло* – кожна рослина на різних фазах і стадіях розвитку потребує певної кількості тепла; 3) *вода* є елементом живлення рослин і регулятором температури; 4) *елементи живлення* – знаходяться у ґрунті, а також у повітрі, які необхідні рослинам упродовж всього життя; 5) *повітря* – джерело кисню для рослин і мікроорганізмів, а також вуглекислого газу, потрібного для живлення рослин.

Останні три фактори називаються *земними* і їх до певної міри можна регулювати через ґрунт. Світло та тепло – *космічні фактори*, які регулюються побічно (посівом, напрямком рядків тощо).

**Фактори життя рослин – це об'єкти навколишнього середовища, які безпосередньо (матеріально) діють на ріст і розвиток рослин.**

Ці фактори поділяються на *абіотичні та біотичні*. До *абіотичних факторів* життя рослин належать *космічні* (світло, тепло), *атмосферні* (повітря, гази, вітер), *земні* (вода, поживні речовини, реакція ґрунту). *Біотичні фактори* – це живі організми (мікроорганізми, вищі та нижчі рослини, тварини, людина). Всі фактори безпосередньо діють на ріст і розвиток рослин як у природних рослинних асоціаціях (фітоценозах), так і в штучних (агроценозах).

***Умови життя рослин – це явища навколишнього середовища, які впливають на ріст і розвиток рослин не безпосередньо, а через матеріальні фактори, сила і напрямок дії яких змінюється при зміні цих умов.***

До умов життя рослин належать: географічне розташування місцевості, рельєф та ін. Географічне розташування місцевості впливає на продуктивність рослин через зміну клімату, рельєф – через перерозподіл атмосферних опадів, світла, тепла на поверхні землі, час – через нагромадження кількісних змін факторів.

У період росту та розвитку рослин фактори і умови діють не ізольовано, а у взаємодії. При цьому вони впливають не тільки на продуктивність рослин, а й на зміну складу фітоценозів та агрофітоценозів у часі, отже, і на еволюцію ґрунтів. І якщо на формування і продуктивність біофітоценозів впливають в основному природні фактори та умови, то на формування і продуктивність агрофітоценозів – природні й антропогенні. Це структура посівних площ, сівозміни з певним чергуванням культур по роках на кожному полі, обробіток ґрунту, внесення добрив, меліорація (водна або хімічна), застосування біостимуляторів та отрутохімікатів проти хвороб, шкідників і бур'янів.

Природно, що для одержання високих урожаїв сільськогосподарських культур, без зниження родючості ґрунту і без забруднення навколишнього середовища, необхідно застосовувати такі агротехнічні заходи, які відповідають законам природи і землеробства.

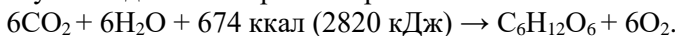
### ***3.2. Світловий режим та його регулювання***

Світло є для рослин необхідним фактором, оскільки без світла в рослинах не здійснюється фотосинтез, а тому не будуть

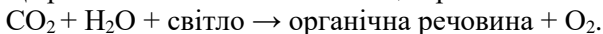
накопичуватися органічні речовини. Усі зелені рослини живляться автотрофно, здійснюючи фотосинтез органічних сполук із мінеральних речовин, які поглинаються із навколишнього середовища (із повітря, ґрунту). Один з важливих елементів, який входить до складу рослин, – Вуглець (Карбон) – рослини поглинають у формі вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) із повітря і тільки незначну частину у вигляді гідрокарбонатного аніону ( $\text{HCO}_3^-$ ) – із ґрунту. У зв'язку з цим *фотосинтез називають повітряним живленням*, хоча при фотосинтезі використовується не тільки вуглекислий газ, але і вода, і розчинені в ній сполуки Азоту (Нітрогену), Фосфору, Калію та інших елементів, які поглинаються із ґрунту в процесі кореневого живлення.

***Фотосинтез є окисно-відновним процесом між  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ , при якому вода віддає (за допомогою дегідрогенази) водень (гідроген) вуглекислому газу, окиснюється до кисню (кисненню) (який виділяється в атмосферу), а вуглець (карбон) вуглекислого газу, приєднуючи гідроген води, відновлюється в органічну речовину.***

Окиснення води (з участю дегідрогенази) відбувається з використанням енергії світла, тому цей процес називається *фотолізом*. Хімізм і енергетична сторона процесу фотосинтезу наводиться у вигляді такого простого рівняння:



Це рівняння можна написати ще простіше:



Фотосинтез відбувається в зелених листках, а точніше – в хлорофілових зернах. Для фотосинтезу і для синтезу хлорофілу необхідне світло. Крім того, воно потрібне для нормального росту та розвитку рослин.

Після тривалого вивчення фотосинтезу були встановлені роль і значення в цьому процесі окремих частин спектра. До складу спектра сонячного світла входять промені, ммк: ультрафіолетові – менше 397; фіолетові та сині – 397-452; зелені – 452-535; жовті та частина червоних – 535-644; червоні та інфрачервоні – 644-764.

Ультрафіолетові промені вбивають мікроорганізми.

Фіолетові та сині є провідними в процесі фотоперіодизму.

*Фотоперіодизм* – це зміна світлової фази на темнову. Рослині необхідна як світлова, так і темнова фази. Ці фази мають чергуватись. У час світлової фази відбувається синтез органічних речовин у зелених листках, а в час темної – переміщення цих речовин у ті органи, де вони нагромаджуються (корені, бульби, зерно тощо).

Зелені промені рослини відбивають, жовті та частина червоних визначають фотосинтез, а червоні та інфрачервоні є тепловими променями.

Продуктами фотосинтезу можуть бути не тільки вуглеводи, а й органічні кислоти, амінокислоти, білки, аскорбінова кислота (вітамін С) та ін. Первинними продуктами фотосинтезу, в яких акумулюється енергія сонячного світла, вважають аденозинтрифосфат і піридиннуклеотиди.

Виникає закономірне запитання: від чого залежить урожай культур при розгляді світлового фактора? Він залежить від: а) інтенсивності фотосинтезу; б) площі листової поверхні; в) довжини вегетаційного періоду.

*Інтенсивність фотосинтезу* визначається кількістю грамів цукру, утвореного за годину одним квадратним метром листової поверхні. Це майже один грам.

*Поверхня листя* різних рослин різна. На 1 м<sup>2</sup> посіву площа листової поверхні у рослин така, м<sup>2</sup>: зернові рослини – 8, бобові трави – 12, бавовник і цукровий буряк – 5, картопля – 3,7.

*Довжина вегетаційного періоду* теж неоднакова. Середня довжина вегетаційного періоду, в днях: для озимої пшениці і жита 270-370, вівса – 93-103, кукурудзи – 85-140, цукрового буряка – 150-170, картоплі – 60-160, соняшника – 75-160, льону – 80-100, бавовнику – 115-150.

Дуже важливо те, що коли рослини потрапляють в умови короткого або подовженого дня, тоді вони, як правило, розтягують свій вегетаційний період. Наприклад, бавовник, посіяний на півдні України, встигає розвинути до появи коробочки, але жодна коробочка не розкривається, незважаючи на те, що в тій частині України сума активних температур більша 3000°C. Невизрівання бавовнику пояснюється тим, що в Україні на 2 години довший світловий день, ніж у Середній Азії.

На інтенсивність фотосинтезу впливають як зовнішні, так і внутрішні фактори. *Із зовнішніх факторів на фотосинтез найбільше впливають вміст вуглекислоти в повітрі, температура й освітлення, а також водний і поживний режими ґрунту.* При підвищенні концентрації вуглекислого газу інтенсивність фотосинтезу значно посилюється. Підвищенню вмісту вуглекислого газу в повітрі сприяє внесення органічних добрив, посилення біологічних процесів у ґрунті правильним обробітком його та іншими заходами.

Температурні умови фотосинтезу неоднакові для різних рослин. Процеси фотосинтезу в цукрових буряків відбуваються в межах від 12 до 36°C, оптимальна ж температура становить близько 19°C.

Заходами агротехніки, якими ми змінюємо водний, повітряний, поживний і температурний режими ґрунту, можна змінювати в бажаному напрямі і фотосинтез рослин.

**До внутрішніх факторів належать кількість хлорофілу, вік листя, його вологість тощо.** Більш інтенсивно відбувається фотосинтез у добре розвинутих зелених листках, менш інтенсивно – в молодих, а також у тих, які починають жовкнути. Найважливішим для процесу фотосинтезу є вміст у листках вологи. При нестачі вологи закриваються багато продихів, внаслідок чого значно послаблюється енергія фотосинтезу. Збільшенням запасів вологи в ґрунті і зменшенням випаровування води рослиною можна значно посилити інтенсивність фотосинтезу. Особливо ефективним щодо цього є зрошення, насадження лісосмуг тощо.

Коли для рослин мало світла, у них слабо розвиваються механічні тканини, вони витягуються і знижують врожаї. Зернові хліба при нестачі світла вилягають, у цукрових буряків слабо розвивається коренеплід, у картоплі – бульби.

Для регулювання світлового режиму рослин у землеробстві здійснюють багато заходів. Основними з них є:

- правильне розміщення рослин на площі і відповідні норми висіву насіння;
- забезпечення певного напрямку рядків під час сівби. Рівномірніше освітлюються рослини, рядки яких напрямлені з півночі на південь;

- для просапних культур велике значення має вчасне прорідження посівів. Якщо з ним запізнитися, рослини від нестачі світла «стікають». Ще більше значення має вчасне знищення бур'янів;
- впровадження більш продуктивних сортів, сівозмін, внесення добрив, застосування правильного обробітку ґрунту;
- застосування мішаних посівів і насаджень;
- особливо важливо регулювати світловий режим у закритому ґрунті для культур, які культивуються зимою та рано весною, коли довжина та напруга природного періоду освітлення знижується до мінімуму, а тому доводиться «доосвітлювати» рослини електричними лампами.

### ***Контрольні питання***

1. Дайте визначення поняття «фактори життя рослин» і чим вони відрізняються від їх умов.
2. Що таке повітряне живлення рослин?
3. Визначте роль і значення в процесі фотосинтезу окремих частин світлового спектра.
4. Назвіть складові світлового фактора, від яких залежить урожай культур.
5. Назвіть головні зовнішні і внутрішні фактори, які чинять вплив на інтенсивність фотосинтезу.
6. Назвіть головні заходи регулювання світлового режиму рослин у землеробстві.

### 3.3. Тепловий режим ґрунту та його регулювання

#### 3.3.1. Роль тепла в житті рослин

Тепло як джерело енергії необхідне для росту та розвитку рослин, для мікроорганізмів, які населяють ґрунт, для синтезу органічних речовин у листках, для утворення врожаю. Інтенсивність найважливіших фізіологічних процесів – фотосинтезу, дихання, транспірації – залежить від температури рослин і навколишнього середовища. Підвищення температури до визначеної величини (оптимуму) сприяє активізації зазначених вище процесів. У подальшому при підвищенні цього фактору нормальна життєдіяльність рослин порушується, але якщо температура ще більше підвищується, проходять незворотні порушення обміну речовин, які приводять рослин до загибелі.

Кожний вид рослин має характерно визначені відношення до температури в різні фази їх розвитку. Найкращі умови створюються при оптимальній температурі, коли швидкість біохімічних реакцій досягає найбільшої величини. Ці особливості різних культур і сортів слід брати до уваги, починаючи від установаження строків сівби. Дослідники приділяли багато уваги вивченню температури проростання насіння, оскільки це має дуже велике значення для встановлення оптимальних строків сівби. На основі досліджень з цього приводу встановлені (табл. 3) мінімальні, оптимальні та максимальні температури проростання насіння різних культур.

Таблиця 3

#### *Мінімальні температури проростання насіння і появи сходів різних культур*

Культури	Мінімальна температура, °С	
	проростання насіння	появи сходів
Рижій, коноплі, гірчиця, конюшина, люцерна	0-1	2-3
Жито, пшениця, ячмінь, овес, ріпак, тимофіївка, вика яра, горох, сочевиця, чина, лялеманція	1-2	4-5
Льон, гречка, люпин синій, нут, боби, буряки	3-4	6-7
Соняшник, картопля	5-6	8-9
Кукурудза, просо, могар, суданська трава, соя	8-10	10-11
Квасоля, сорго, рицина	10-12	12-13
Бавовник, арахіс, рис	12-14	14-15

Оптимальна температура для проростання насіння в більшості культурних рослин лежить у межах від 20 до 30°C (для жита вона становить 20°C, ячменю 25°C, пшениці 30°C), а максимальна – від 30 до 40°C.

Від температури ґрунту залежить і швидкість появи сходів. Якщо при температурі 5°C овес сходить на 12-й день після сівби, то при 15°C – через 4 дні; кукурудза при температурі 10-12°C сходить через 20-22 дні, а при 18-19°C – через 9 днів. Установлено, що більш сприятлива для появи сходів не постійна температура, а змінна.

Знання відношення рослин до тепла дозволяє правильно провести районування рослин на території країни, правильно встановити строки посіву, оптимальніше розміщати сільськогосподарські культури на площах господарства.

Не менше значення мають теплові умови для життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів, з якими зв'язані процеси утворення доступних рослинам форм поживних речовин, зв'язування атмосферного Нітрогену (Азоту) бульбочковими і вільноживучими бактеріями, а також життєдіяльність бактерій і грибів, які викликають хвороби рослин. Більша частина ґрунтових мікроорганізмів розвивається найліпше всього при температурі від 10 до 40°C. Різне відношення до тепла рослин і ґрунтових мікроорганізмів викликає нестачу Азоту (Нітрогену) в озимих культур ранньою весною, що є результатом слабкої життєдіяльності нітрифікуючих бактерій.

Дуже низькі й високі температури повітря шкідливі для рослин. Так, взимку при дуже низьких температурах гинуть озимі, навесні пошкоджуються сходи теплолюбивих культур. Негативно впливають на рослини і дуже високі температури, при яких різко зменшується тургор, а в зернових можливий «запал», або «захват» зерна.

**Температура ґрунту впливає на ріст рослин не тільки опосередковано, а й прямо, змінюючи його водно-повітряний і поживний режими.**

Наприклад, зимове промерзання ґрунту поліпшує його водно-повітряний режим. Вода при замерзанні розширюється і великі частинки ґрунту подрібнюються. Під впливом низьких темпера-



тур відбувається зворотний процес – найдрібніші частинки ґрунту з'єднуються в більші, тобто відбувається корисний процес, відомий під назвою коагуляції колоїдів.

Внаслідок цього ґрунт навесні після суворих зим ліпше розпушується, ніж після м'яких. У спеціальних дослідах установлено, що добре промерзлий ґрунт після обробітку містив 52,3% структурних агрегатів, розміром від 0,25 мм до 7 мм і лише 12% великих глиб, а після м'якої зими відповідно – 33 і 29%.

Від температури залежить коефіцієнт розчинності окремих газів, а зміна температури впливає на склад повітря ґрунту.

### **Впливає температура і на режим поживних речовин.**

Оптимальна температура діяльності мікроорганізмів у ґрунті 25-30°C. Тому навесні, коли ґрунт ще не прогрівся, поживних речовин, особливо нітратів, у ньому мало. При нагріванні ґрунту влітку біологічні процеси в ґрунті посилюються, що сприяє нагромадженню поживних речовин. При підвищеній температурі колоїди ґрунту збіднюються на вологу (дегідратуються), внаслідок чого зменшується поверхня ґрунтових частинок, деякі поглинуті катіони вивільняються і стають доступними для рослин. Проте при дуже високій температурі ґрунт перегрівается, що негативно впливає на біологічні процеси. Від температури ґрунту залежить також вбирання з ґрунту поживних речовин.

Вегетаційний період підраховується в днях від сходів до визрівання. Рослини протягом вегетаційного періоду потребують відповідної суми активних температур. Вона складає для: озимої пшениці та жита – 1600-2200°C, картоплі – 1300-3000°C, цукрового буряку – 2400-3700°C, рису – 3000-4500°C, бавовнику – 3500-5000°C.

За відношенням до тепла рослини поділяються на ярі та озимі. Ярі культури висіваються весною і дають насіння того ж року. За строками посіву вони поділяються на ранні, середні та пізні. Насіння, особливо ранніх ярих культур, для проростання потребують понижених позитивних температур.

Озимі культури висіваються восени за 50 днів до настання мінусових температур. Взимку, протягом 60 днів, вони проходять стадію яровизації. При цьому температура ґрунту на рівні вузла куштиння повинна бути нижча від нуля, але не нижче за –

21-22°С. Для підвищення зимостійкості озимих необхідно дбати про накопичення цукрів у вузлі кушіння. Це досягається в осінній період за умов, коли настають відносно теплі дні і прохолодні ночі. З іншого боку, внесення разом з посівом озимих культур калію збільшує синтез і накопичення цукрів у вузлі кушіння, що підвищує зимостійкість рослин. Озимі дають насіння на другий рік (влітку). Тому їх вегетаційний період може перевищувати один рік.

### **3.3.2. Тепловий режим ґрунту**

Кількість тепла в ґрунті, а відповідно і його температура, змінюються навіть протягом доби. Мінливість її величин суттєво впливає як на хід ґрунтотворних процесів, так і на умови росту і розвитку рослин. Тому необхідною умовою відтворення родючості ґрунту і підвищення урожайності культурних рослин є регулювання його теплового режиму.

**Тепловий режим ґрунту – сукупність процесів надходження та віддачі тепла ґрунтом, його переміщення в ньому і всіх змін температури ґрунту.**

Джерела тепла в ґрунті – променева енергія сонця (пряма і розсіяна сонячна радіація); тепло, що отримується від повітря, і тепло, що утворюється в результаті розкладу рослинних решток; внутрішнє тепло земної кулі; тепло від радіоактивних процесів, що проходять у ґрунті.

Основним джерелом тепла у ґрунті є сонячна радіація. Вона дорівнює двом калоріям на 1 см<sup>2</sup> поверхні землі (83,68 кДж/м<sup>2</sup>). Але ця величина не скрізь однакова, тому що сонячні промені спрямовані до поверхні землі в різних точках під різним кутом. Кількість тепла, яка надходить від сонця, збільшується від полюсів до екватора.

**Здатність ґрунту поглинати променисту енергію (теплопоглинальна здатність) залежить від будови ґрунту, його теплоємності.**

На тепловий режим ґрунту істотно впливає втрата ґрунтом тепла, яке випромінюється в навколишню атмосферу. Вологі ґрунти мають більш високе променевипромінювання, ніж сухі.

**Альbedo** – це відношення кількості променевої енергії, яка відбивається від поверхні ґрунту, до загальної кількості променевої енергії, яка надходить на Землю.

Найбільших величин альbedo досягає на поверхні снігу 0,7-0,8 (табл. 4). Альbedo залежить від кольору ґрунту, його структурного стану, вологості та вивітрюваності поверхні, а також від особливостей рослин (кольору листків, стебел).

Теплоємність ґрунту розрізняють *вагову* та *об'ємну*.

**Вагова теплоємність** – кількість тепла в калоріях (Дж), яка витрачається на нагрівання 1 г ґрунту на 1°С (кал/г (Дж/г) на 1°С).

Теплоємність залежить від мінералогічного та гранулометричного складу і вологості ґрунту, а також вмісту в ньому органічної речовини.

Таблиця 4

**Залежність величини альbedo (%) від зволоження ґрунту та рослинності**

Ґрунт, порода	Альbedo, % (А)	Культура, рослинність	Альbedo, % (А)
Чорнозем:		Пшениця:	
сухий	14	яра	10-25
вологий	8	озима	16-23
Глина:		Трави:	
суха	23	зелені	26
волога	16	сухі	19
Пісок білий і жовтий	34-40	Картопля	19

Вагова теплоємність для більшості мінеральних ґрунтів в абсолютно сухому стані коливається в порівняно вузьких межах – 0,17-0,20. Коефіцієнт переводу в СІ становить 1000·4,186. З підвищенням вологості теплоємність піщаних ґрунтів зростає до 0,7, глинистих – до 0,8, а торф'яних – до 0,9. Глинисті ґрунти відрізняються великою вологоємністю. Весною вони повільно нагріваються, за що й одержали назву «холодні» ґрунти. Легкі за гранулометричним складом ґрунти (піщані, супіщані) нагріваються швидко, тому їх називають «теплыми». Теплоємність пухких ґрунтів, які характеризуються високою пористістю аерації, значно нижча від теплоємності щільних ґрунтів (табл. 5).

Таблиця 5

**Теплоємність складових частин ґрунту, ккал/г·град**

Речовина	Вагова	Об'ємна
<i>Пісок кварцовий</i>	0,196	0,517
Глина (суха)	0,233	0,575
Органічна речовина (торф)	0,477	0,601
Вода	1,000	1,000
Повітря	0,239	-

**Теплопровідність ґрунту – здатність його проводити тепло.**

Теплопровідність вимірюється кількістю калорій тепла, яке проходить за 1 с, через 1 см<sup>2</sup> ґрунту шаром 1 см. У такому багатофазному середовищі, яким є ґрунт, тепло передається різними шляхами: через розділяючі частини або повітря; при безпосередньому контакті частин між собою. На величину теплопровідності впливає хімічний склад, вологість, кількість повітря, щільність і температура ґрунту.

Гранулометричний склад ґрунту безпосередньо впливає на величину теплопровідності. Остання тим значніша, чим більші механічні елементи ґрунту (табл. 6). Дослідним шляхом встановлено, що теплопровідність фракцій крупнозернистого піску з однаковою пористістю та вологістю в два рази більша, ніж крупнопилуватої фракції. Теплопровідність твердої фази приблизно в 100 разів більша від теплопровідності повітря, а тому пухкий ґрунт характеризується більш низьким коефіцієнтом теплопровідності, ніж щільний ґрунт. Експериментально встановлено, що при зміні щільності від 1,1 до 1,6 г/см<sup>3</sup> теплопровідність збільшується в 2-2,5 рази. Зворотна залежність виявляється між пористістю і теплопровідністю: при збільшенні пористості з 30 до 70% теплопровідність зменшується у 6 разів.

Таблиця 6

**Теплопровідність складових частин ґрунту, ккал/см · с · град**

Речовина	Тепло- провідність	Речовина	Теплопровідність
Повітря	0,00006	Кварц	0,0024
<i>Вода</i>	0,00136	Граніт	0,0082
<i>Торф</i>	0,00027	Базальт	0,0052

Прямий вплив на теплопровідність має ступінь зволоження ґрунту. При однаковій дисперсності та щільності вологіший ґрунт характеризується більшою теплопровідністю, ніж сухіший.

Для оцінки швидкості вирівнювання температури горизонтів ґрунту використовують поняття температуропровідності. Остання визначається зміною температури ґрунту внаслідок надходження до нього тепла, що протікає за 1 с через 1 см<sup>2</sup> поперечного перерізу при різниці температури в 1°С на відстані 1 см.

Тепловий режим має добову та річну ритмічності. Найбільші коливання температури впродовж доби весною та літом поширюються на глибину 70-100 см, але амплітуда коливань дуже зменшується, коли на поверхні ґрунту є рослинність, або сніг.

Річні коливання температури ґрунту досягають більш глибоких шарів. У південних широтах річні температурні коливання не відчуються на глибині 5 м, а при різкоконтинентальному кліматі коливання поширюються на глибину до 30 м. Значний вплив на ріст озимих і зимуючих рослин і на водний режим ґрунту має промерзання та розмерзання ґрунту. Глибоке промерзання погіршує перезимівлю озимих, а також утруднює проникнення в ґрунт води, яка утворюється з льоду.

У літні місяці найвищі середньодобові температури спостерігаються на поверхні ґрунту. З глибиною вони знижуються спочатку швидко, а потім поступово. У зимові місяці, навпаки, температура з глибиною підвищується.

Суттєвий вплив на температурний режим ґрунту здійснює ґрунтовий покрив. Погано проводячи тепло, сніг зменшує випромінювання його з ґрунту і віддачу в атмосферу, тобто зменшує охолодження ґрунту.

Тепловий режим ґрунту залежить від рельєфу місцевості. Експозиція схилів та їх крутизна визначають різницю в кількості тепла, що надходить від сонця. Ґрунти південних, південно-східних і південно-західних схилів прогриваються більше, ніж на північних, північно-західних і північно-східних схилах і вирівняних ділянках.

Ґрунти, покриті рослинністю (озимі, трави, ліс і т. ін.), промерзають менше, ніж непокриті.

У різних ґрунтово-кліматичних зонах складаються різні температурні режими ґрунтів (табл. 7).

Таблиця 7

**Систематика теплових режимів ґрунтів (за М.О. Дімо)**

Класи (групи)	Підкласи (типи)
<i>Промерзаючі</i>	мерзлотні тривало-сезонно-промерзаючі сезонно-промерзаючі
<i>Непромерзаючі</i>	охолоджуючі теплі жаркі

1. *Мерзлотні режими* типові для ґрунтів з багаторічною мерзлотою. Середньорічна температура ґрунтів мінусова. Температура найбільш теплого місяця на глибині 0,2 м не перевищує 20°C.
2. *Тривало-сезонно-промерзаючі*: до п'яти місяців переважає позитивна середньорічна температура профілю. Температура найтеплішого місяця на глибині 0,2 м від 10 до 25°C. Глибина промерзання більше 1 м.
3. *Сезонно-промерзаючі* ґрунти мають позитивну середньорічну температуру. Термін промерзання не більше 2-х місяців. Підстилаючі породи немерзлі. Температура теплого місяця на глибині 0,2 м – 20-30°C.
4. *Непромерзаючі* ґрунти мають протягом року позитивні середньорічні температури по профілю.

Суттєві зміни в характер теплового режиму ґрунтів вносить обробіток ґрунту, а також агроеліоративні заходи.

Основний показник теплозабезпеченості ґрунтів – сума активних температур (>10°C) у ґрунті на глибині 20 см (табл. 8), тому що саме тут розміщується основна маса коренів рослин.

Таблиця 8

**Оцінка теплозабезпеченості ґрунтів (за М.О. Дімо)**

Сума активних температур ґрунту на глибині 0,2 м, °С	Теплозабезпеченість ґрунтів	Сума активних температур ґрунту на глибині 0,2 м, °С	Теплозабезпеченість ґрунтів
0-400	Низька	2100-2700	Вище середньої
400-800	Дуже слабка	2700-3400	Добра
800-1200	Слабка	3400-4400	Дуже добра
1200-1600	Нижче середньої	4400-5600	Висока
1600-2100	Середня	5600-7200	Дуже висока

**3.3.3. Регулювання теплового режиму**

Зважаючи на те, що тепловий режим ґрунту взаємозв'язаний з водним, повітряним і поживним режимами, метою його регулювання є поліпшення умов життя рослин. Залежно від умов ґрунтово-кліматичної зони, воно повинно спрямовуватися на збільшення притоку тепла до поверхні ґрунту (північні райони) або на його зменшення (південні райони).

Щодо характеру активного впливу на тепловий режим ґрунту всі дії з його регулювання поділяються на агротехнічні, агро меліоративні та агрометеорологічні.

До групи *агротехнічних заходів* входять способи обробітку ґрунту: глибоке розпушування, коткування, нарізання гребенів, залишення стерні на поверхні, мульчування. *Агромеліоративні заходи* – це лісонасадження, боротьба з посухою, зрошення, осушення. *Агрометеорологічні заходи* спрямовані на зниження випромінювання тепла з ґрунту, боротьбу з заморозками і т. ін.

*Дія меліоративних заходів* на тепловий режим найбільш стійка та радикальна. *Лісосмуги комплексно впливають на тепловий і водний режими ґрунту*. Вони сприяють накопиченню снігу на полях, зменшують стік талих вод, безпосередньо впливаючи на температуру ґрунту. Лісосмуги змінюють мікроклімат місцевості, знижують швидкість вітру в лісосмуговому просторі порівняно з відкритою місцевістю на 20-40%. Це зменшує вертикальний обмін приземного шару повітря з атмосферним і

сприяє зниженню температури повітря в міжсмуговому просторі вдень і підвищенню вночі.

*Для захисту озимих культур від вимерзання велике значення має снігозатримання.* Наприклад, з дослідів В. В. Милого (1955) відомо, що якщо на поверхні ґрунту без снігу температура була  $-19,4^{\circ}\text{C}$ , то під шаром снігу товщиною 16 см –  $-13,5^{\circ}\text{C}$ , а товщиною 33 см –  $-5,6^{\circ}\text{C}$ . Це пояснюється низькою теплопровідністю снігу.

*Зрошення зменшує відбивання сонячної радіації на 20% та знижує випромінювану радіацію, а отже, збільшує прихід теплової енергії в ґрунт.* Зрошення збільшує теплопровідність ґрунту, що сприяє більш рівномірному його прогріванню і зменшенню коливань температури.

*Тепловий режим поліпшується при осушенні перезволожених ґрунтів.* На таких ґрунтах ефективний гребневий спосіб сівби та садіння культурних рослин. У гребенях ґрунт швидко протряхає і ліпше прогривається. Температура в гребені впродовж дня вища на  $3-5^{\circ}\text{C}$ , ніж на вирівняних ділянках. Це важливо для захисту рослин від заморозків.

*До групи меліоративних відносять також заходи, спрямовані на зміну мікрорельєфу ґрунту.* На вирівняних ділянках зменшується прогрівання ґрунту й аерація посівів, знижується акумуляція розсіяної сонячної радіації та конвективний теплообмін повітря з ґрунтом.

*Для регулювання теплового режиму найбільш доступними є агротехнічні заходи.* Обробіток ґрунту змінює співвідношення між водою і повітрям, а отже, і його теплоємність і теплопровідність.

Різниця температур обробленого та необробленого ґрунту може досягати  $5^{\circ}\text{C}$  і більше. Глибоко зораний та розпушений ґрунт навесні ліпше прогривається, ніж ущільнений. Розпушений ґрунт вдень більше вбирає сонячної радіації, а вночі більше її випромінює, ніж ущільнений. Коткування розпушеного ґрунту підвищує його температуру на глибині 3 см на  $2-4^{\circ}\text{C}$ .

Температуру ґрунту можна регулювати також мульчуванням, тобто покриттям поверхні торфом, соломкою, листям, гноєм, деревною тирсою, полімерними і пластмасовими плівками. Чор-



ний матеріал зменшує альbedo ґрунту на 10-15%. Це призводить до зниження відбиваючої здатності та ліпшого прогрівання ґрунту. Білий матеріал (крім плівок) є засобом зниження надлишкового нагрівання ґрунту. Покрыття поверхні прозорими плівками сприяє інтенсивнішому прогріванню ґрунту порівняно з темними плівками внаслідок того, що прозорі пропускають видиму частину сонячного спектра та інфрачервону радіацію і зменшують розхід тепла. При мульчуванні поверхні зменшуються також добові коливання температури ґрунту.

До групи агрометеорологічних заходів регулювання теплового режиму відносять *утворення димових завіс, яке застосовується для захисту рослин від заморозків і затінення поверхні ґрунту щитами, мульчею*, що знижує температуру верхнього шару ґрунту.

Уміле регулювання теплового режиму ґрунтів сприяє відтворенню ґрунтової родючості та суттєво підвищує врожайність сільськогосподарських культур.

### ***Контрольні питання***

- 1. Яка роль тепла в житті живих організмів і рослин?*
- 2. Наведіть мінімальні температури проростання насіння та оптимальні температури росту і розвитку рослин.*
- 3. Схарактеризуйте відношення рослин до тепла і на які групи культур вони поділяються.*
- 4. Дайте визначення теплового режиму ґрунту і назвіть джерела тепла в ґрунті.*
- 5. Обґрунтуйте теплові властивості і залежність їх від водно-фізичних та хімічних показників ґрунту.*
- 6. Наведіть основні прийоми регулювання теплового режиму ґрунту.*

### **3.4. Водний режим та його регулювання**

#### **3.4.1. Роль і значення води в природі та ґрунтових процесах**

Ґрунтова вода має велике значення як для життєдіяльності рослин і мікроорганізмів, так і для процесу ґрунтоутворення. Вода в природі виконує дві функції: забезпечує багато фізичних і хімічних процесів; є потужною транспортною геохімічною системою, яка сприяє переміщенню речовин у просторі. У житті ґрунту вода виконує такі функції:

- зумовлює розвиток усіх життєвих процесів у ґрунті, визначає інтенсивність і спрямованість процесів вивітрювання та ґрунтоутворення, динаміку ґрунтових процесів;
- має велике значення як для життєдіяльності рослин, так і мікроорганізмів. Підкреслюючи винятково важливу роль води в ґрунті, Г. М. Висоцький порівнював її з роллю, яку виконує кров у живих організмах;
- забезпечує процес гумусоутворення та мінералізацію органічних речовин у ґрунті;
- хімічні реакції відбуваються тільки у водному середовищі;
- ґрунтова волога виступає в якості теплорегулятора, впливаючи на тепловий баланс і режим ґрунту;
- з поверхневим стоком води пов'язаний розвиток ерозійних процесів, з внутрішньоґрунтовим рухом – вилугування речовин, лесиваж, осолодіння. Надлишок вологи в ґрунті призводить до оглеєння та заболочування, а підняття по капілярах та випаровування води, що містить солі, – засолення та осолонцювання ґрунту;
- від вмісту вологи в ґрунті залежить його щільність, липкість і фізична стиглість – здатність до кришіння й утворення агрегатів;
- вологість ґрунту у великій мірі визначає рівень його ефективної родючості тому, що саме ґрунтова волога – основне джерело води для рослин і мікроорганізмів;
- з ґрунтовою вологою пов'язані процеси виносу, переміщення та акумуляції речовин і енергетичного матеріалу і, як наслідок, формування генетичних горизонтів і профілю ґрунту в цілому.

Стан води в ґрунті, закони її переміщення, доступність рослинам й водоспоживання ними, водно-фізичні властивості ґрунтів та їх водний режим вивчали Г. М. Висоцький, О. О. Ізмаїльський, П. С. Коссович, А. Ф. Лебедев, А. Г. Дояренко, Н. А. Качинський, О. А. Роде й інші.

### 3.4.2. Джерела надходження води в ґрунт

Вода в ґрунт надходить за рахунок таких джерел: а) атмосферні опади, б) ґрунтові води, в) конденсаційні процеси, г) зрошення.

**Основними джерелом води в богарному землеробстві є атмосферні опади.** Кількість опадів, які випадають за рік у різних ґрунтово-кліматичних зонах, коливається від 100 мм у напівпустельних районах до 2500 мм у субтропіках Західної Грузії. На більшій частині сільськогосподарської території України сума опадів не перевищує 500-600-700 мм у рік. Проте цей показник не повністю характеризує ступінь забезпеченості вологою рослин, тому що дуже велике значення має розподіл опадів у часі. Для України характерний *європейський тип* випадання атмосферних опадів, тобто 60% їх від річної суми випадає в період вегетації рослин (квітень-вересень).

$$K = \frac{\sum_o}{\sum_v}$$

$\sum_o$  – сума річних опадів, мм  
 $\sum_v$  – річне випаровування з вільної водної поверхні, мм

Специфіку формування водного режиму зональних типів ґрунтів визначають, перш за все, кількість атмосферних опадів і температурний режим. Сумісний вплив цих факторів на характер водного режиму ґрунтів Г.М. Висоцький визначив як відношення річної суми опадів до річної випаровуваності, назвавши його коефіцієнтом зволоження (К).

Залежно від кліматичних умов величина коефіцієнта зволоження може змінюватися в межах 0,1-3. Г.М. Висоцький на основі значень К виділив чотири типи водного режиму ґрунтів (табл. 9).

Таблиця 9

**Типи водного режиму ґрунтів за Г. М. Висоцьким**

Значення К	Тип водного режиму ґрунтів
> 1	промивний;
> 1 (<1)	періодично промивний;
1	непромивний;
< 1	випітний (при близькому до поверхні заляганні ґрунтових вод).

Але в природі випаровування води проходить не з вільної водної поверхні, а з ґрунту, в якому не завжди є волога.

Деяка частина води атмосферних опадів іде на поверхневий стік, який починається при крутизні схилу  $1^\circ$ . Величина поверхневого стоку у рівнинній частині досягає 18-20% від усієї кількості випадаючих опадів. В дуже еродованій Донецькій області поверхневий стік досягає 50%, а в гірських районах Криму, Карпат він складає 70-80%. Поверхневий стік також залежить від: а) характеру випадання опадів (злива чи мжичка), б) гранулометричного складу ґрунту, в) характеру поверхні поля (зоране, багаторічні трави, просапні, зернові культури). У зв'язку з цим Костяков величину стічної води виразив через коефіцієнт  $a$ , який поставив у знаменник формули Висоцького.

Велике значення має також величина випаровування з поверхні ґрунту, яка залежить від температури ґрунту та повітря. Тому для визначення забезпеченості рослин вологою важлива не тільки кількість випадаючих опадів, але й величина випаровування та температура ґрунту й повітря. Відомий метеоролог Г. Т. Селянинов запропонував формулу для визначення *гідротермічного коефіцієнта (ГТК)*, який показує відношення суми опадів за вегетаційний період (позитивні температури більше від  $10^\circ$ ) в мм до 0,1 суми температур за цей період. Якщо ГТК дорівнює 0,5, то це свідчить, що умови дуже посушливі, 1,0 – посушливі, 1,5 – вологі, 2,5 – перезволожені.

**Другим джерелом зволоження ґрунтів є ґрунтові води.** Ці води можуть використовуватися не завжди. Ступінь їх використання залежить від довжини кореневих систем рослин, глибини залягання ґрунтових вод, від кількості випадаючих опадів.

Корені лісових і плодово-ягідних багаторічних культур поширюються на глибину 6-10 м, деяких трав'янистих багаторічних (люцерна) на глибину 4-6 м, корені злакових однорічних культур розвиваються на 1,5-2 м.

При складанні річного балансу води необхідно звернути увагу на глибину залягання ґрунтових вод. Беручи до уваги, що капілярне підняття вологи в тонкодисперсних ґрунтах відбувається на висоту до 4-6 м, у грубодисперсних до 0,5-4 м, розрахунки водного балансу потрібно вести на всю товщину.

Ступінь використання рослинами ґрунтової води залежить від водопідйомної здатності ґрунтів.

**Водопідйомна здатність ґрунтів – властивість ґрунтів викликати підняття вміщеної в них води за рахунок капілярних сил.**

Висота підйому води в ґрунтах визначається в основному гранулометричним і структурним складом ґрунтів, їх пористістю. Чим ґрунти важчі й менше оструктурені, тим більша потенційна висота підйому води. Найбільш інтенсивно піднімається вода по капілярах при діаметрі пор 0,1-0,003 мм (табл.10).

Таблиця 10

*Залежність водопідйомної здатності ґрунтів від гранулометричного складу (В. А. Ковда, 1973)*

Гранулометричний склад	Водопідйомна здатність, м
крупний пісок	0,5
середній пісок	0,5-0,8
супісок	1,0-1,5
пилуватий супісок	1,5-2,0
суглинок середній	2,5-3,0
суглинок важкий	3,0-3,5
глина важка	4,0-6,0
леси	4,0-5,0

У піщаних ґрунтах вода піднімається не високо, але досить швидко, у глинистих – повільно. При розривах капілярів, що характерно для структурних ґрунтів, створюються менш сприятливі умови для руху капілярної вологи і вона ліпше зберігається в ґрунті. Боронування вологого ґрунту спрямовується на збере-

ження вологи в результаті розриву капілярів у верхньому шарі ґрунту і зниження (або припинення) випаровування води, що мітється в ґрунтовому профілі.

Глибина, на яку проникають води опадів, називають **зоною сезонного промочування**. На плато ніколи не буває прохідного промочування. Промочування може бути тільки в окремих западинах та лісосмугах. У лісостеповій зоні промочування досягає 4 м, у степовій – 50-80 см, а інколи до 1 м. Горизонт, який знаходиться між промоченим атмосферними опадами і горизонтом ґрунтових вод, **називається мертвим горизонтом**. Його вологість завжди на рівні біля 18%, що відповідає плівчастій вологоємності. Ця волога недоступна для рослин. Якщо ґрунтові води знаходяться на глибині 5-6 м, рослини почувають себе гірше, тому що **капілярна кайма** досягає 3-5 м, а коренева система рослин доходить до такої глибини. Отже, в цьому випадку рослини використовують ґрунтові води. Такі умови сприяють вирощуванню багаторічних трав, коренева система яких досягає рівня ґрунтових вод. У заплавах, понижених ділянках рельєфу, де ґрунтові води знаходяться близько до поверхні, необхідно висівати овочеві культури. Крім того, ґрунтові води можна використати для зрошення, хоча з цією метою краще використовувати воду річок.

**Менше значення в прихідній частині водного балансу має конденсація водяних парів повітря внаслідок різниці температури ґрунту й атмосферного повітря.** Цей процес спостерігається в районах континентального клімату, де відбувається різка зміна температур дня і ночі. Агрономічне значення має та вода, яка конденсується не на поверхні ґрунту, а на деякій глибині, особливо в тонких *капілярних порах*, діаметр яких менше від 0,05 мм. Ця конденсація називається *внутрішньою капілярною*.

**Дуже важливе штучне зволоження ґрунту – шляхом зрошення.** В Україні площа під зрошенням досягає 2,2 млн га. Для поливу можна використовувати прісну воду річок, ставків водойм, а також певною мірою солоні (шахтні, артезіанські) води, в яких кількість солей не перевищує 2-4 г/л.

### 3.4.3. Значення та роль води в житті рослин

**Водний режим охоплює сукупність процесів надходження води в ґрунт, її переміщення, зміни фізичного стану і втрати із ґрунту.**

Вода – необхідна умова життя рослин. Вона є одним із факторів родючості ґрунту. Потреба рослин у воді виявляється з перших днів їх розвитку. Процес проростання насіння починається тільки тоді, коли воно набубнявіє, іншими словами, всмокче визначену кількість води. Дослідженнями ряду авторів встановлено, що ця кількість води для різних рослин складає від 25 до 150 % від маси сухого насіння. Із польових культур більше води для цього потребує насіння бобових та олійних культур, цукрових буряків, а найменше – насіння проса, кукурудзи. У цей період життя насіння виявляє високу потребу у вологості ґрунту та рухомості води.

Надходження води в насіння зв'язано із *сорбційними явищами*. Гідрофільні колоїди (крохмаль, білки, целюлоза), з яких складається насіння, можуть поглинати в десятки разів більше води, ніж важать самі. Перші порції поглинання води супроводжуються *тепловим ефектом*. У насіння, яке проросло, крім сорбційних процесів, спостерігаються і *дифузійні процеси*. Перші порції води під впливом ферментів викликають гідроліз крохмалю до цукрів. Цукри, розчиняючись у воді, створюють високий *осмотичний тиск*, і вода через шкірні покриви починає проникати в насіння. Після появи проростків і розвитку кореневої системи, вода в рослину надходить через корені під дією осмотичного тиску, який створюється у них. Всмоктувальна сила у рослин складає 4-5 (0,41-0,51 МПа), а в деяких солевих – досягає 10-12 атм (1,1-1,2 МПа).

У ґрунтах з незначною кількістю води волога утримується ґрунтовими колоїдами величезними силами в декілька тисяч атмосфер. Тому між рослинами і ґрунтовими колоїдами постійно триває боротьба за ґрунтову воду. Коли в ґрунті досить води, остання через кореневі волоски надходить у рослини. Там вона проникає в живі клітини і досягає провідних тканин. Вода рухається по плазмі клітин, і цей рух регулюється диханням. Як тільки порушується дихання, змінюється надходження води в рослину.

Дихання як процес, пов'язаний з накопиченням рослиною енергії, що використовується водою.

У подальшому вода досягає ситоподібних трубок, по яких вона рухається відповідно до капілярного підтоку. Ситоподібні трубки забезпечують окремі частини рослин автономно. Нормально розвинута рослина має 80-90% води і 20-10% сухих речовин. Унаслідок старіння кількість води у рослині зменшується, а кількість сухих речовин збільшується. Кукурудза у молочно-восковій стиглості має 55-60% сухих речовин. При повній стиглості зернові культури мають 10-30% вологи. При здачі зерна заготівельним організаціям його маса перераховується на 15% вологи, а кукурудза – на 14%. Зерно, яке вирощене в Середній Азії, має 7% вологи. Старіння веде до обезводнення клітин, що характерне для всіх живих організмів. Живлення рослин певною мірою регулює їх оводненість. Наприклад, сульфатний і фосфатний аніони підвищують швидкість старіння рослин. Хлоридний аніон і внесення гною (нітратний іон) подовжують вегетацію рослин.

Рослини випаровують вологу через *продиховий апарат*. Це випаровування регулюється замикаючими клітинами. При посиленні тургору, який пов'язаний зі збільшенням кількості води в рослині, настає такий момент, коли продихи відкриваються. При дуже великій посуші вони відкриваються і не мають можливості закритися. При цьому відбувається різкий відбір води від колоїдів, білки клітин коагулюють, рослина гине.

**Потребу рослин у воді звичайно вимірюють кількістю води (в грамах), необхідної для утворення одного грама сухої речовини. Ця величина відома під назвою транспіраційного коефіцієнта (ТК).**

Проте даний показник дає лише уявлення про кількість витраченої рослиною води в певних умовах зовнішнього середовища. Величину, обернену транспіраційному коефіцієнту, називають *продуктивністю транспірації*. Для визначення цих показників користуються вегетаційним і польовим методами досліджень. Наведемо транспіраційні коефіцієнти деяких культурних рослин, які були встановлені Шредером у Московському сільсько-господарському інституті: жито – 342, пшениця – 390, ячмінь – 470,



овес – 391, горох – 306, кукурудза – 178, просо – 190, льон – 410. Деякі інші цифри були встановлені Брігсом і Шанцом у штаті Колорадо (США): жито – 685, пшениця – 513, ячмінь – 334, овес – 597, кукурудза – 368, просо – 293, льон – 905, червона конюшина 798, люцерна – 831.

Із цих даних видно, що величина ТК у різних видів рослин неоднакова. Він вищий у багаторічних трав і нижчий в однорічних злакових, особливо просоподібних культур. У різних місцевостях для одного і того ж виду рослин отримано неоднакові величини ТК. Отже, ТК залежить не тільки від виду рослин, але й від метеорологічних і ґрунтових умов. *Величина випаровування з одиниці площі листової поверхні залежить від відносної вологості приземного шару атмосферного повітря, його температури та сили вітру.*

Потреба у воді однієї і тієї ж рослини змінюється з фазами розвитку. Періоди найбільшої потреби у воді називаються *критичними*.

Багато дослідників вивчали потребу рослин у воді в різні періоди вегетації. Узагальнені висновки із цих праць і своїх досліджень були зроблені у 1938 р. Сказкіним. Критичним періодом для озимого жита, озимої та ярої пшениці, ячменю та вівса виявився період виходу у трубку – колосіння, для сорго та проса – колосіння – налив зерна, для кукурудзи – цвітіння – молочна стиглість, для зернобобових і гречки – цвітіння, для картоплі – бульбоутворення. Загальний висновок для всіх культур Сказкін зробив такий: нестача води сильніше відображається в рослині в момент *утворення репродуктивних органів*.

Неоднакове відношення до вологості ґрунту проявляють ґрунтові мікроорганізми. Нітрифікатори розвивають найбільш активну діяльність при вологості, яка приблизно дорівнює польовій вологоємності. Дуже висока вологість згубніша для процесів нітрифікації, ніж понижена.

#### 3.4.4. Рідка фаза ґрунту, ґрунтовий розчин

**Ґрунтовий розчин – це вода разом з розчиненими в ній речовинами.**

Вода, попадаючи у ґрунт (з опадами, з ґрунтових вод по капілярах, при зрошенні, конденсації водяних парів тощо), зазнає певних змін і перетворюється в ґрунтовий розчин. З одного боку, вона розчиняє різні речовини, а з іншого – втрачає речовини, що поглинаються ґрунтом. У ґрунтовому розчині містяться органічні кислоти та їх солі, а також нітрати, фосфати, сульфати, хлориди, карбонати та інші сполуки. Склад і концентрація ґрунтового розчину залежить від кількості та якості вологи, що надходить у ґрунт, складу твердої фази ґрунту, кількості та якості рослинного матеріалу підземної та надземної частин біогеоценозу та інтенсивності життєдіяльності рослинних організмів. У ґрунтових розчинах ґрунтів лісо-лучної зони переважають органічні сполуки, а мінеральні містяться в незначних кількостях. У ґрунтах посушливих територій переважають мінеральні речовини, а в чорноземах вміст органічних і мінеральних речовин майже однаковий.

Концентрація ґрунтових розчинів невелика й коливається від десятків міліграмів до декількох грамів речовини на 1 л розчину. Наявність у ґрунтовому розчині вільних кислот і лугів визначає актуальну реакцію ґрунтового розчину.

Реакція ґрунтового розчину визначається активністю вільних водневих ( $H^+$ ) і гідроксильних ( $OH^-$ ) іонів і вимірюється показником рН – від'ємним логарифмом активності іонів водню.

рН ґрунтових розчинів змінюється від 2,5 (кислі сульфатні ґрунти) до 8-9 і вище (карбонатні й засолені ґрунти), досягаючи у солонцях і содових солончаках значень 10-11.

Концентрація ґрунтового розчину підзолистих ґрунтів складає декілька десятків міліграмів на 1 л розчину при рН від 5 до 6. Такі ж концентрації характерні й для вологих ґрунтів субтропіків і тропіків. Вміст органічного Вуглецю (Карбону) досягає декількох десятків мг/л; органічна речовина представлена фульвокислотами.

У степових ґрунтах (чорноземи, солонці) концентрація ґрунтового розчину досягає 1-3 г/л і більше. У них міститься багато

$\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Реакція їх – нейтральна і лужна. У засолених ґрунтах переважають  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Загальна сума водорозчинних речовин у водних витяжках вища, ніж у ґрунтових розчинах. Ця різниця тим більша, чим менше розчинних солей. Кількість окремих катіонів і аніонів виражається мг-екв на 1 л розчину, або в мг-екв на 100 г ґрунту.

Динаміка концентрації ґрунтового розчину зв'язана зі змінами температури й вологості ґрунту, інтенсивністю діяльності мікрофлори, мікрофауни ґрунтів, метаболізмом вищих рослин, процесами розкладу органічних решток у ґрунті. Ці зміни визначають добову й сезонну динаміку ґрунтового розчину.

Для більшості типів ґрунтів характерне поступове збільшення концентрації ґрунтового розчину, особливо в поверхневих горизонтах, від весни до літа.

В осінньо-зимовий період води атмосферних опадів розбавляють ґрунтовий розчин і розчиняють частину солей – настає фаза розбавлення ґрунтових розчинів.

Дуже важливо те, що ґрунтові розчини є безпосереднім джерелом елементів живлення рослин. Зрошення й осушення, внесення мінеральних добрив сприяє оптимізації ґрунтових розчинів за вмістом біофільних елементів. Крім того, останні відіграють важливу роль у створенні оптимального осмотичного тиску ґрунтового розчину. А це сприяє ліпшому живленню рослин. Водночас засолені ґрунти характеризуються високим осмотичним тиском, який досягає 30-40 МПа, а сильнозасолені – 50-60 МПа. За умов, коли осмотичний тиск збільшується до 150-160 МПа, волога перестає надходити в рослини й починає з рослин надходити до ґрунту. Всмоктуюча сила коренів більшості сільськогосподарських рослин не перевищує 100-120 МПа.

#### **3.4.5. Форми води в ґрунті та їх доступність рослинам**

ґрунтова волога залежно від характеру зв'язку між молекулами води, твердої та газоподібної фаз ґрунту характеризується різною рухливістю й неоднаковими властивостями. Тому О. А. Роде запропонував ґрунтову воду розділяти на категорії (форми), виходячи з того, що кожна конкретна форма води в ґрунті володіє однаковими властивостями.

За фізичним станом розрізняють: *тверду, рідку та пароподібну ґрунтову воду*; за характером зв'язку з твердою фазою ґрунту та ступенем рухливості – шість категорій: *хімічно зв'язану, тверду, пароподібну, фізично міцнозв'язану та пухкозв'язану, вільну* (рис. 6).

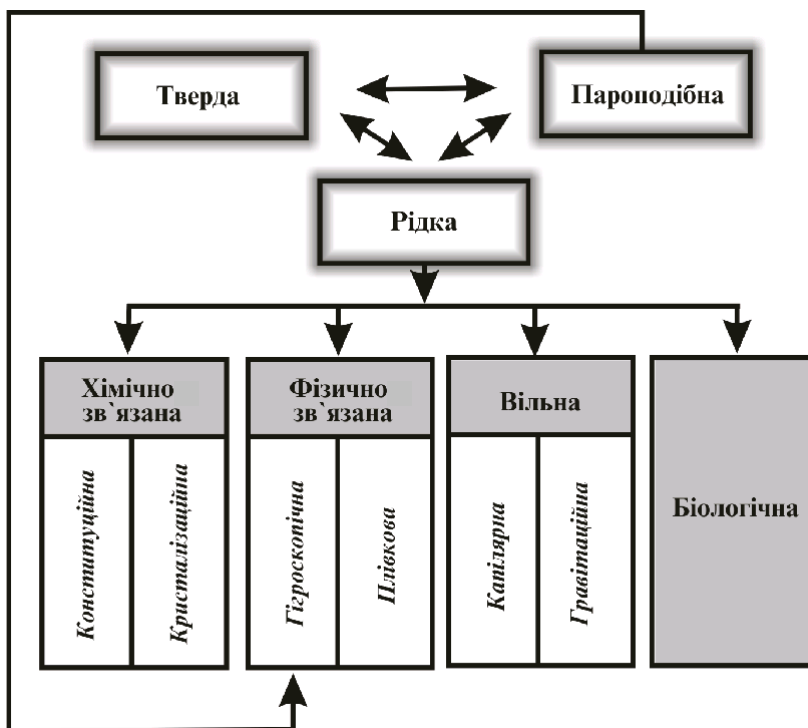


Рис. 6. Стан і форми води в ґрунті

*Хімічно зв'язана вода* – містить конституційну й кристалізаційну. Перша з них представлена гідроксильною групою ОН хімічних сполук – гідроксидів Заліза (Феруму), Алюмінію, Марганцю (Мангану); органічних та органо-мінеральних сполук; глинистих мінералів. Друга – молекулами води кристалогідратів, переважно солей: напівгідрату –  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ; гіпсу –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; мірабіліту –  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  та ін. Ця вода входить

до складу твердої фази ґрунту, не переміщується й не має властивості розчинятися.

Хімічно зв'язана вода рослинам недоступна. При її втраті (дегідратація, синерезис) проходить незворотна трансформація мінеральних, органічних і органо-мінеральних сполук.

*Тверда вода* (лід) – потенційне джерело рідкої та пароподібної води, в яку лід переходить внаслідок танення й випарування. Поява води у формі льоду може мати сезонний або багатовіковий характер. Температура замерзання води в ґрунті нижча  $0^{\circ}\text{C}$ , тому що ґрунтова вода є завжди розчином. Тверда вода нерухома, рослинам недоступна.

*Пароподібна вода* міститься у формі водяної пари в ґрунтовому повітрі порового простору, насичуючи його нерідко до 100%. Один і той самий ґрунт може поглинати різну кількість парів води з атмосферного повітря: чим більша відносна вологість приземного шару повітря, тим більшу кількість поглинутої води має ґрунт. При підвищенні температури знижується відносна вологість повітря, і вода з ґрунту випаровується у ґрунтове повітря. Ця форма води в ґрунті переміщується в його поровому просторі від місць з високою пружністю водяного пару до місць з більш низькою пружністю, а також разом з течією повітря. При зниженні температури пароподібна вода, конденсуючись, може переходити в рідку.

*Міцнозв'язана вода* – перша форма фізично зв'язаної води, називається гігроскопічною водою.

Ця вода поглинається ґрунтом у результаті сорбції ґрунтовими (переважно колоїдними) частинками водяних парів з повітря. Цю властивість ґрунту називають *гігроскопічністю*. Гігроскопічна вода утримується на поверхні ґрунтових частинок дуже великим тиском, приблизно  $1 \cdot 10^9 \text{Па}$ , утворює навколо ґрунтових частинок тонесенькі плівки, що складаються з 1-3 шарів молекул води, які, будучи диполями, володіють здатністю притягуватись як до ґрунтових частинок, так і взаємодіяти одна з одною. Вони притягуються полюсами протилежного знака, оскільки всі молекули сорбованої води зорієнтовані. За фізичними властивостями гігроскопічна вода наближається до твердих тіл. Густина її досягає 1,5-1,8 г/см<sup>3</sup>. Вона нерухома, не замерзає, не розчиняє

електроліти, відрізняється підвищеною в'язкістю і недоступна для рослин. Кількість води, яка може сорбуватися ґрунтом, залежить від відносної вологості повітря. Наприклад, при відносній вологості повітря 20-40% має місце сорбція води безпосередньо ґрунтовими частинками з утворенням моно-, бімолекулярного шару. Подальше збільшення відносної вологості повітря зумовлює зростання товщини водяної плівки.

**Максимальна кількість води, яку може поглинути ґрунт з пароподібного стану при відносній вологості повітря приблизно 95-100 %, називається максимальною гігроскопічністю (МГ).**

При вологості ґрунту, яка дорівнює МГ, товщина плівки з молекул води досягає 3-4 шарів. На величину МГ суттєво впливає величина питомої поверхні ґрунтових частинок, яка залежить від мінералогічного складу та рівня гумусованості. Чим більше в ґрунті мулистих і, особливо, колоїдних частинок, тим більше буде гігроскопічної води. У слабогумусованих піщаних і супіщаних ґрунтах значення МГ сягає 0,5-1%, в добре гумусованих суглинкових і глинистих ґрунтах – 10-15%, у торф'яниках – 30-40%.

Крім максимальної гігроскопічності (МГ), виділяють також *максимальну адсорбційну вологемність (МAB)*, яка являє собою максимальну кількість міцнозв'язаної води, що утримується на поверхні ґрунтових частинок *сорбційними силами*.

*Пухкозв'язана (плівкова) вода*. Ґрунт не може сорбувати пароподібну воду більше МГ, але рідку воду може сорбувати і в більших кількостях.

**Вода, яка утримується в ґрунті сорбційними силами зверх МГ, – це вода плівкова, або пухкозв'язана.**

Утворюється полімолекулярна плівка навколо ґрунтових частинок. Товщина її досягає декількох десятків і навіть сотень діаметрів молекул води. Внаслідок того, що з віддаленням від поверхні ґрунтових частинок знижується міцність фіксації молекул води, плівкова вода може переміщуватися в рідкому стані від ґрунтових частинок з більш товстими водяними плівками до частинок, у яких вони тонші. Швидкість її руху декілька сантиметрів на рік. У середньому для більшості ґрунтів кількість її

складає 7-15%, деколи в глинистих ґрунтах 30-35%, а у піщаних – не більше 3-5%.

**Максимальна кількість пухкозв'язаної (плівкової) води, що утримується силами молекулярного притягання дисперсних ґрунтових частинок, називається максимальною молекулярною вологоємністю (ММВ).**

Величина її, як і МГ, залежить від гранулометричного складу: чим більше мулистих частинок, тим вища величина ММВ. Відповідає наявності в ґрунті двох форм води: гігроскопічної й плівкової. Вона визначає запаси недоступної для рослин води в ґрунті, іншими словами – вологість сталого в'янення (ВВ) рослин. Вона характеризується кількістю води в ґрунті, при якій рослини стало в'януть. Наприклад, кількість води в ґрунті, при якій настає стійке в'янення рослин (або коефіцієнт в'янення): на піщаних ґрунтах складає 0,5-1,5%, супіщаних – 1,5-4%, суглинкових – 3,5-12%, глинистих – 12-20%, торф'янистих – 40-50%. Між вологістю в'янення і максимальною гігроскопічністю існує прямий зв'язок. Для приблизних розрахунків можна вважати, що ВВ більша від МГ у 1,5-2 рази.

Для характеристики доступної рослинам вологи користуються показником рF. Він зв'язаний зі всмоктуючою силою ґрунту, яку можна визначити. Вона зменшується зі зволоженням ґрунту і вимірюється шляхом замірів тиску стовпа води в см, який врівноважується даною кількістю води в ґрунті. За одиницю вимірювання беруть логарифм висоти стовпа води, так звану величину рF. Наприклад, тиск 1000 см H<sub>2</sub>O (1 атм=101,3 кПа) рF відповідає 3. Чим вищий рF, тим міцніше вода утримується ґрунтом. Установлено, що величина рF на всіх ґрунтах при вологості, яка відповідає вологості в'янення рослин, дорівнює 4,2, при вологості уповільненого росту рослин – 2,9, при вологості, яка відповідає польовій вологоємності – 2,0.

*Вільна вода* – міститься в ґрунті зверху пухкозв'язаної води. Відрізняється від останньої відсутністю орієнтації молекул води біля ґрунтових частинок. Вільна вода присутня в ґрунті у формі капілярної та гравітаційної (рис. 7).

**Капілярна вода утримується в ґрунтах у порах малого діаметра – капілярах, капілярними (або менісковими) силами.**

Ці сили виникають внаслідок наявності на поверхні рідини ненасичених молекул, які є джерелом надлишкової поверхневої енергії. Оскільки енергія завжди прагне до найменшого значення, це виявляється в прагненні до максимального зменшення поверхні рідини. Вода добре змочує

більшість тіл. Явище змочування викликає скривлення поверхні рідини біля стінок посудини, в якій міститься вода. Якщо посудина має великий діаметр, то значна частина поверхні залишається плоскою, а скривлюються тільки її краї. У посудинах з малим діаметром вищезгадане скривлення викликає утворення меніска, який для води має вигнуту форму. Меніски утворюються тільки у трубках з малим діаметром. Чим менший діаметр капіляра, тим більша скривленість меніска.

Скривлення поверхні веде до зміни поверхневого тиску. Він зменшується при утворенні зігнутого меніска і збільшується при утворенні випуклої форми. Зі зменшенням поверхневого тиску в менісках таких пор зв'язана висота капілярного підняття

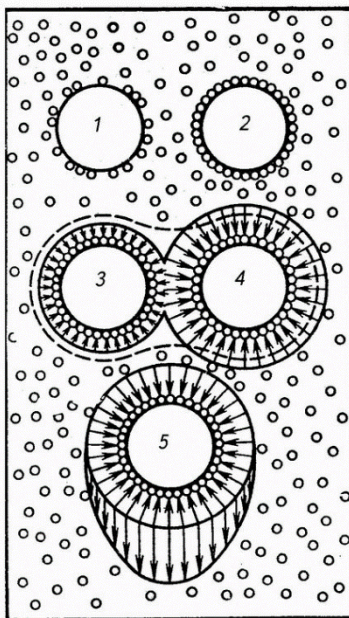


Рис. 7. Частинки ґрунту, закриті водою:

**1, 2 – гігроскопічною;**

**3, 4 – плівковою;**

**5 – гравітаційною**



рідини. Висота капілярного підняття рідини пропорційна радіусу капіляра (*формула Жюрена*).

Висота, на яку може піднятися рідина, залежить від радіуса кривизни поверхні рідини. У ґрунтах капілярні сили починають проявлятися в порах з діаметром менше 8 мм, але особливо велика їх сила в порах з діаметром від 0,1 до 0,003 мм.

Капілярна вода рідка, дуже рухлива, розчиняє речовини, переміщує солі. Вона поділяється на: *капілярно-підвішену, капілярно-підперту, капілярно-посаджену*.

Капілярно-підвішена вода заповнює капілярні пори при зволоженні зверху (після дощу, поливу). Вона може рухатись у всіх напрямках.

Капілярно-підперта вода утворюється в ґрунтах при піднятті води знизу від горизонту ґрунтових вод по капілярах на висоту від 0,5 до 6 м. Зона над дзеркалом ґрунтових вод, насичена капілярно-підпертою водою, називається **капілярною каймою**.

Капілярно-посаджена вода утворюється у шаруватій ґрунтовій товщі дрібнозернистого шару при підстиланні його шаром великозернистим, над межею зміни цих шарів.

**Максимальна кількість капілярно-підвішеної води, яка залишається в ґрунті після стікання надлишкової вільної води, називається найменшою вологосмістю (НВ).**

Це можливе за відсутності капілярного зв'язку з ґрунтовими водами. Величина НВ залежить від гранулометричного складу, гумусованості, структурності та складення ґрунту. У супіщаних та піщаних ґрунтах НВ складає 5-20%, суглинкових і глинистих 20-45%. НВ – найважливіша агрономічна характеристика ґрунту, тому, що показує запас доступної для рослин води,

$$H = \frac{2\alpha}{rgd}$$

*H* – висота капілярного підняття, см;

*a* – поверхневий натяг, 1 мН/см при 20°C;

*r* – радіус капіляра, см;

*g* – прискорення сили тяжіння, 981 см/с<sup>2</sup>;

*d* – густина води, г/см<sup>3</sup>.

яка може утримуватися впродовж тривалого часу. Оптимальна вологість ґрунту для рослин відповідає 70-100% НВ.

Різниця між величиною НВ і фактичним вмістом вологи в ґрунті називається *дефіцитом вологи в ґрунті*.

Із висиханням ґрунту переривається суцільність заповнення капілярів водою, сповільнюється або припиняється висхідний рух води по капілярах. Знижується і доступність для рослин вологи, що залишилася в кутах стику частинок і на ділянках капілярів. Ця кількість води в ґрунті називається вологістю розриву капілярів (ВРК). ВРК характеризує нижню межу оптимальної вологості ґрунту. При значеннях вологості ґрунту нижче ВРК сповільнюється ріст і знижується продуктивність рослин. Величина ВРК у різних ґрунтах варіює в межах 50-70% НВ.

**Максимальна кількість капілярно-підпертої води, яка може утримуватися в шарі ґрунту над дзеркалом ґрунтових вод (в межах капілярної кайми), називається капілярною вологоємністю (КВ).**

Величина її залежить від пористості ґрунту й материнської породи, а також глибини залягання ґрунтових вод. При близькому заляганні ґрунтових вод (1,5-2,0 м) КВ найвища (30-40%).

Гравітаційна вода переміщується в ґрунті під дією гравітаційних сил. Перебуває у рідкому стані, має високу розчинність, вона переносить солі, колоїди, тонкі суспензії. Присутність у ґрунті цієї форми води – явище несприятливе, оскільки спостерігаються тимчасове або постійне перезволоження, відновні процеси й оглеєння.

**Максимальна кількість гравітаційної води, яку може вмістити ґрунт при заповненні всіх порожнин, крім пор із защемленим повітрям (5-8% загальної пористості), називається повною вологоємністю (ПВ).**

При повному заповненні ґрунту водою, тобто при значеннях вологості ґрунту, що відповідає ПВ, у ґрунті міститься максимальна кількість води, куди входять гігроскопічна, плівкова, капілярна і гравітаційна форми ґрунтової вологи. Величина ПВ практично дорівнює пористості ґрунту і змінюється від 20-40 до 50-60% від маси абсолютно-сухого ґрунту.

Знаходячись у ґрунті в різних формах, вода відрізняється за доступністю для рослин. Взаємозв'язок форм ґрунтової води, їх доступність рослинам і способи пересування в ґрунті наведено в табл. 11.

**Таблиця 11**

**Форми води в ґрунтах та їх доступність рослинам**

Форма води	Доступність води рослинам	Спосіб переміщення	pF*
Продуктивна волога: від повної до найменшої вологоємності (ПВ-НВ)			
Гравітаційна та капілярно-гравітаційна	Легкодоступна, однак надлишкова, зумовлює нестачу повітря, малопродуктивна	Переміщується в глибину ґрунту в рідкому вигляді під дією сили тяжіння	0-2
Продуктивна волога: від найменшої вологоємності до вологості розриву капілярів (НВ-ВПК)			
Капілярна	Легкодоступна	Переміщується по капілярах і плівках	2-3
Продуктивна волога: від вологості розриву капілярів до вологості в'янення (ВПК-ВВ)			
Плівкова	Важкодоступна	Переміщується по плівках навколо ґрунтових частинок	3-4,2
Непродуктивна волога: від вологості в'янення до максимальної адсорбційної вологоємності (ВВ-МАВ)			
Плівково-гігроскопічна	Недоступна	Переміщується у вигляді пари	4,2-5
Непродуктивна волога: від максимальної адсорбційної вологоємності до хімічно зв'язаної вологи (сухий ґрунт)			
Гігроскопічна і хімічно-зв'язана	Недоступна	Переміщується у вигляді пари і нерухома	5-7

\* pF- логарифм величини водоутримуючих сил, виражений у см водяного стовпа.

З'ясовано верхню і нижню межу вмісту доступної ґрунтової вологи під рослинним покривом. Верхня межа – це най-

менша польова вологоємність (НВ), тобто кількість води, що утримується ґрунтом після того, як у його товщі закінчився перерозподіл гравітаційної води. Такий момент на добре дренованих ґрунтах настає через два-три дні після випадання дощу або зрошення. Нижня межа – це такий вміст води в ґрунті, який уже не забезпечує нормальної життєдіяльності рослин і вони починають в'янути. Це вологість в'янення (ВВ).

*Вологість в'янення* – найважливіша агроґрунтова характеристика. Як критерій доступності води рослинам вона зумовлена не тільки властивостями ґрунту, але й видом рослин. Всмоктуюча здатність коренів визначає рівень нижньої межі доступної вологи.

Доступна для рослин ґрунтова волога знаходиться в межах від найменшої вологоємності до вологості розриву капілярів. Це оптимальний діапазон вологості. Однак екологічний оптимум вологості ґрунту у різних рослин суттєво відрізняється. Наприклад, для зернових культур і коренеплодів оптимальний рівень вологості складає 55-70%, для капусти, картоплі 60-75%, для багаторічних трав 65-80% НВ.

Надлишок вологи в ґрунтах, коли вологість перевищує найменшу вологоємність (НВ), пригнічує ріст і розвиток рослин. Різні рослини по-різному переносять перезволоження. Кукурудза і рис можуть утворювати внутрішні повітроносні тканини. Пристосованість до поганої аерації полягає в розвитку неглибокої кореневої системи у верхньому шарі ґрунту, який ліпше забезпечений киснем. Перезволожені ґрунти не містять повітря.

#### **3.4.6. Водні властивості ґрунту**

До найважливіших водних властивостей відносяться *водопроникність, водоутримуюча здатність і вологоємність ґрунту*.

**Властивість ґрунту поглинати й утримувати воду в своєму профілі, протидіючи стіканню її під дією сили тяжіння, називається водоутримуючою здатністю.**

Основними силами, що утримують воду в ґрунті, є *сорбційні та капілярні*. Кількісно водоутримуючу здатність характеризує вологоємність.

**Вологоємність** – здатність ґрунту поглинати й утримувати визначену кількість води.

У залежності від сил, які утримують воду в ґрунті, та умов її утримання, виділяють: *максимальну адсорбційну вологоємність (МАВ)*, *максимальну молекулярну вологоємність (ММВ)*, *капілярну вологоємність (КВ)*, *найменшу (НВ)* і *повну вологоємність (ПВ)*. Ці види вологоємності та форми води, що їм відповідають, були охарактеризовані в підрозділі 3.4.5.

**Водопроникність ґрунту** – це здатність ґрунту всмоктувати і пропускати через себе воду, яка надходить з поверхні.

При цьому розрізняють *поглинання*, *всмоктування води ґрунтом*, коли вода заповнює пори і порожнини сухого ґрунту, переміщуючись від одного генетичного горизонту до іншого (перший етап), і *фільтрацію*, коли вільна вода проходить крізь товщу насиченого вологого ґрунту (другий етап). При цьому перший етап являє собою всмоктування води ґрунтом і характеризується *коефіцієнтом всмоктування*. Інтенсивність проходження води в ґрунтовій товщі характеризується *коефіцієнтом фільтрації*. Межею між всмоктуванням і фільтрацією вважають встановлення постійної швидкості фільтрації.

Водопроникність ґрунтів знаходиться в тісній залежності від їх гранулометричного складу та хімічних властивостей, структурного стану, щільності, вологості й тривалості перезволоження. Дуже знижує водопроникність ґрунтів наявність здатних до набрякання колоїдів, насичених натрієм або магнієм (солонцюваті ґрунти). При зволоженні таких ґрунтів вони швидко бубнявляють і робляться практично водонепроникними. ґрунти структурні, пухкі, легкого гранулометричного складу характеризуються високим коефіцієнтом всмоктування й фільтрації.

Водопроникність ґрунтів вимірюється об'ємом води, який переходить через одиницю площі поперечного перерізу за одиницю часу. Величина ця дуже динамічна й змінюється як за профілем ґрунтів, так і просторово. Оцінити водопроникність ґрунтів важкого механічного складу можна за шкалою, яку запропонував Н. А. Качинський (1970) (табл. 12).

ґрунти, що володіють високою водопроникністю, не здатні створювати добрі запаси вологи в кореневмісному шарі, а ті, що

характеризуються низькою водопроникністю, – перезвожуючись, зумовлюють стікання води по поверхні ґрунту і розвиток ерозії або застій води на поверхні та вимокання посівів.

Таблиця 12

**Оцінка водопроникності ґрунтів**

Водопроникність (в см) за 1-у годину, всмоктування при тиску 5 см і температурі води 10°C	Оцінка
> 1000	Провальна
1000-500	Надлишково висока
500-100	Найкраща
100-70	Добра
70-30	Задовільна
< 30	Незадовільна

### 3.4.7. Водний режим ґрунту, його вплив на ґрунтоутворення й агрономічні властивості ґрунтів

**Водний режим ґрунту – це сукупність явищ надходження води в ґрунт, її переміщення, збереження, змін фізичного стану і розходу з ґрунту.**

Кожен з цих процесів окремо виступає як елемент водного режиму. Кількісно надходження води в ґрунт і її розхід являє водний баланс, а кількісно виражені елементи водного режиму є, відповідно, елементами водного балансу. Він є підсумком, який обчислює початкові та кінцеві запаси вологи в ґрунті і всі джерела надходження та витрат вологи в ґрунті за визначений період.

Ураховуючи основні джерела надходження та витрат вологи в ґрунті, загальне рівняння водного балансу можна виразити за формулою:

$$V_0 + O_c + V_r + V_n + V_n + V_6 = E_b + E_t + V_i + V_{nc} + V_{rc} + V_l$$

Величини лівої частини рівняння – прибуткові джерела балансу, правої частини – витратні.

Як правило, ґрунти характеризуються стабільним водним режимом, що встановився за багато років, без прогресуючого висушування або зволоження, коли надходження води в ґрунт та

її витрати практично не змінюються. У різні періоди часу (пори року, вегетаційний період) баланс води в ґрунті змінюється, тобто водний баланс має річні цикли. Закономірності надходження та витрат води в кожному ґрунті повторюються щорічно.

$$V_0 + O_c + V_r + V_n + V_n + V_6 = E_v + E_r + V_i + V_{nc} + V_{rc} + V_l$$

$V_0$  – запаси вологи в ґрунті на початку спостереження;

$O_c$  – сума опадів за весь період спостережень;

$V_2$  – кількість вологи, яка надійшла із ґрунтових вод;

$V_n$  – кількість вологи, яка надійшла із водяних парів;

$V_n$  – кількість вологи, яка надійшла в результаті поверхневого притоку води;

$V_6$  – кількість вологи, яка надійшла від бокового притоку ґрунтових вод;

$E_v$  – кількість води, яка випарувалась з поверхні ґрунту за весь період спостережень;

$E_r$  – кількість води, яка витратилась на транспірацію;

$V_i$  – волога, яка інфільтрувалась у глибинні горизонти ґрунту;

$V_{nc}$  – кількість води, яка втратилась у результаті поверхневого стоку;

$V_{rc}$  – кількість води, яка втратилась з боковим внутрішньоґрунтовим стоком;

$V_l$  – запас вологи в ґрунті в кінці періоду спостереження.

При розрахунках водного балансу запаси води в ґрунті вираховують для кожного генетичного горизонту (тому, що вони відрізняються за щільністю та вологістю ґрунту), а потім підсумовують (до певної заданої глибини). Запас вологи в горизонтах виражають у т/га, або м<sup>3</sup>/га і розраховують за відповідною формулою.

$$C_w = W \cdot d \cdot h$$

$C_w$  - запас води, т/га;

$W$  - польова вологість ґрунту, %;

$d$  - рівноважна щільність ґрунту, т/м<sup>3</sup>;

$h$  - потужність шару ґрунту, м.

Для перерахунку запасу води у ґрунті в мм водяного стовпа необхідно кількість води, розраховану в т/га ( $\text{м}^3/\text{га}$ ), помножити на 0,1, тому що  $1\text{м}^3/\text{га}$  відповідає 0,1 мм водяного стовпа.

Загальний запас води в ґрунті розраховують, додаючи запаси води по кожному генетичному горизонту.

Для визначення запасу продуктивної вологи в заданому шарі ґрунту необхідно знати значення вологості в'янення (ВВ). Віднявши від вологості ґрунту вологість в'янення рослин, знаходять процентний вміст продуктивної вологи в ґрунті. Потім проводять розрахунки запасів продуктивної вологи в т/га ( $\text{м}^3/\text{га}$ ) за наведеною вище формулою. При необхідності їх переводять у мм водяного стовпа.

Таблиця 13

**Оцінка запасів продуктивної води в різних шарах ґрунту**

Потужність шару, см	Запаси води, мм	Якісна оцінка запасів води
0-20	більше 40	добрі
	40-20	задовільні
	менше 20	незадовільні
0-100	більше 160	дуже добрі
	160-130	добрі
	130-90	задовільні
	90-60	погані
	менше 60	дуже погані

Оцінку запасів продуктивної вологи в ґрунті особливо важливо проводити перед початком весняних польових робіт, а також перед сівбою озимих культур, коли необхідно проектувати план їх розміщення та заходи по накопиченню і збереженню вологи в ґрунті.

О. Ф. Вадюніна і З. О. Корчагіна (1986) наводять такі параметри якісної оцінки запасів води в ґрунті (табл. 13).

Г. М. Висоцький на основі значень К виділив чотири типи водного режиму ґрунтів (див. табл. 9).

До цих чотирьох типів водного режиму О. А. Роде додав ще два – мерзлотний та іригаційний. Останнім часом виділяються 14 типів водного режиму (В. А. Ковда, Б. Г. Розанов, 1988). З агрономічного погляду найбільш доцільно виділяти 6 типів водного режиму (за Висоцьким-Роде). Характер водного балан-



су при промивному, непромивному і випітному типах водного режиму зображені на рис. 8.

*Мерзлотний водний режим* постійно кріогенних ґрунтів властивий ґрунтам, які формуються в місцях багаторічної мерзлоти. Протягом більшої частини року ґрунтова вода знаходиться у твердому стані у вигляді льоду.

У теплий період лід розмерзається зверху вниз і над мерзлим шаром утворюється надмерзлотна верховодка. Вода витрачається на випаровування, боковий стік, десукцію. Ґрунт постійно вологий. Упродовж більшої частини вегетаційного періоду волога підтримується на рівні від найменшої до повної вологості і ніколи не буває нижчою від вологи в'янення (ВВ).

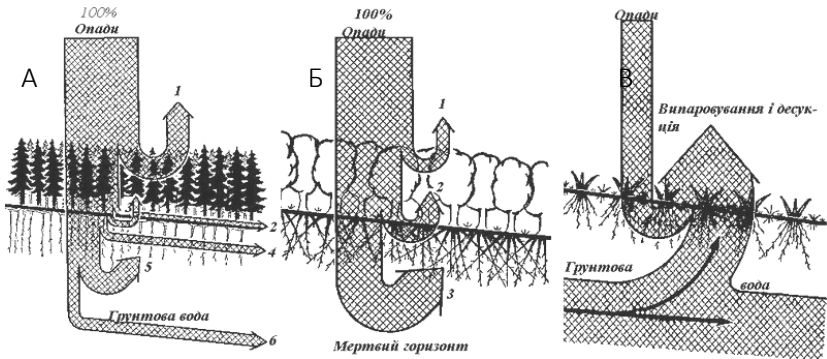


Рис. 8. Схеми водного балансу при промивному (А), непромивному (Б) і випітному (В) типах водного режиму (О.А. Роде, 1965):

- 1 – випаровування з рослинної поверхні; 2 – поверхневий стік;  
 3 – випаровування з поверхні ґрунту; 4 – внутрішньо ґрунтовий стік;  
 5 – десукція; 6 – ґрунтовий стік.

*Промивний режим* властивий ґрунтам лісових зон тайги, вологих субтропіків і тропічних лісів, помірних широколистяних лісів, де річна сума опадів перевищує річне випарування. Щорічно ґрунтова товща промочується до рівня ґрунтових вод, що забезпечує винесення продуктів ґрунтоутворення за межі ґрунтової товщі. Ґрунти мають надлишок води. У нижній части-

ні профілю вміст вологи ніколи не знижується нижче від найменшої вологості.

У підзолистих ґрунтах тайги тільки протягом 3-х місяців літа вологість тримається в межах від вологи в'янення до найменшої вологості. Весною після сніготанення ґрунт зволожується в межах від найменшої до повної вологості, на деякій глибині утворюється верховодка.

*Періодично промивний режим* характерний для ґрунтів, які формуються в умовах, коли річна сума опадів приблизно така ж, як і річне випаровування. Це характерно для Лісостепу з вилугованими і типовими чорноземами. Наскрізне промочування ґрунту відбувається один раз у 10-15 років. Періодично (не щорічно) весь профіль насичується водою до вологості, що відповідає найменшій вологості. У нижній частині профілю періодично вологість падає до вологості розриву капілярів (ВРК), а у верхній – до вологості в'янення (ВВ).

*Непромивний режим* властивий зонам, де середня річна сума опадів менша від середньорічного випаровування (Степ, Посушлива Савана). Ґрунтова товща промочується на глибину 0,5-2 м, нижче знаходиться шар з постійно низькою вологістю. У верхній частині профілю відповідно з режимом випадання опадів волога коливається в межах від ПВ до ВВ, у нижній – від вологи розриву капілярів (ВРК) до ВВ протягом року.

*Випітний режим*, як і непромивний або посушливий, має місце в ґрунтах аридного клімату, але в умовах близького залягання до поверхні ґрунтових вод. У них капілярна кайма періодично піднімається до поверхні, ґрунтові води випаровуються фізично і в разі наявності в них солей, розчинних у воді, поверхневі горизонти збагачуються ними. Формуються лучні солончаки та солончакові ґрунти.

*Иригаційний водний режим* характерний для штучно зрошуваних територій. Річний водний режим при зрошенні нестабільний і може змінюватися з часом на промивний, непромивний і навіть випітний залежно від виду, інтенсивності та строків зрошення.

### 3.4.8. Основні заходи регулювання водного режиму ґрунтів

Регулювання водного режиму засновано на врахуванні ґрунтово-кліматичних умов території та біологічних особливостей вирощуваних культур. Необхідно намагатися створювати в ґрунті коефіцієнт зволоження, близький до одиниці.

Для умов зони сухих степів і пустелі основний захід регулювання водного режиму – зрошення.

Для зон з нестійким зволоженням важливо накопичувати і зберігати вологу в ґрунті. Це здійснюється за допомогою снігозатримання і затримання талих вод (кулісні пари, обробіток ґрунту поперек схилу, щільювання і т. ін.), зберігання вологи в ґрунті (поверхнєве розпушування, боронування, мульчування поверхні, коткування і т. ін.). Велике значення мають поєднані лісові смуги та введення в сівозміну чистих парів.

Особливої уваги заслуговує боротьба за вологу в районах недостатнього зволоження. Площі посушливих регіонів на Україні поширені в степовій зоні, де часто бувають посухи, – один рік із трьох. **Посухи бувають двох типів: ґрунтова та атмосферна.** *Ґрунтова* створюється довгим періодом без опадів, за який коренежиттєвий шар ґрунту висихає і рослини страждають від нестачі води при великій сухості повітря. *Атмосферна* посуха звичайно передре ґрунтовій, але деколи обидва цих типи настають разом і тоді посуха є найбільш небезпечною.

Основними заходами боротьби з посухою є: 1) поєднане лісорозведення, 2) снігозатримання, 3) щільювання ґрунту, 4) контурна оранка, 5) валкування зябу; 6) контурний плоскорізний обробіток ґрунту.

У зонах достатнього надлишкового зволоження зі слабкою дренаваністю ґрунтів основний прийом – відведення надлишку води. Для цього здійснюють осушення за допомогою дренажної системи відкритого або закритого типу, гребнювання, вирівнювання поверхні ґрунту, вузькозагінну оранку тощо. Найліпшим способом осушення перезволожених земель є закритий гончарний дренаж. Як установлено І. І. Назаренком (1981), у бездощові роки дренаж негативно впливає на водний режим ґрунту. Тому, проектуючи осушувальні системи в Передкарпатті чи на інших перезволожених територіях, доцільно передбачати можливість

двостороннього регулювання водного режиму ґрунту шляхом проведення зрошення в посушливі періоди.

При регулюванні водного режиму ґрунтів найбільш ефективний весь комплекс заходів з підвищення родючості ґрунту і збільшення урожайності сільськогосподарських культур, включаючи, поряд з агро меліоративними, агрохімічні, фітомеліоративні та інші заходи.

### ***Контрольні питання***

- 1. Визначте значення води в ґрунтових процесах.*
- 2. Визначте джерела надходження води в ґрунт.*
- 3. Схарактеризуйте водопідйомну здатність ґрунтів.*
- 4. Визначте значення та роль води в житті рослин.*
- 5. Що таке ґрунтовий розчин? Його агрономічне значення.*
- 6. Які існують форми (категорії) води в ґрунті?*
- 7. Що таке вологоємність? Охарактеризуйте основні категорії вологоємності.*
- 8. Що таке вологість в'янення і від чого вона залежить?*
- 9. Схарактеризуйте водні властивості ґрунтів.*
- 10. Що таке водний режим ґрунту і водний баланс?*
- 11. Як розрахувати запаси продуктивної вологи в ґрунті?*
- 12. Схарактеризуйте типи водного режиму ґрунтів.*
- 13. Перелічіть основні заходи регулювання водного режиму ґрунтів.*

### 3.5. Повітряний режим та його регулювання

#### 3.5.1. Роль і значення повітря в житті рослин і ґрунтових процесах

Ґрунтове повітря є фактором життя сільськогосподарських рослин. У ньому містяться елементи живлення рослин і продукти біологічної діяльності – Оксиген (O), Карбон (C), Нітроген (N). Там також можуть бути присутні  $\text{NH}_3$ ,  $\text{PH}_3$  та інші елементи живлення. Кількість повітря в ґрунті визначається об'ємом усіх проміжків між твердими частинками, не зайнятими водою. Знаючи загальну пористість ґрунту і кількість вологи в ньому, можна за різницею вирахувати об'єм ґрунтового повітря. Звідси зрозуміло, що вода і повітря взаємно заміняють один одного в ґрунті – чим більше води, тим менше місця залишається для повітря. У період великої кількості вологи в ґрунті створюються анаеробні (безкисневі) умови. Коливання ґрунтової вологості призводить до змін кількості повітря у ньому.

Кисень як складова частина повітря необхідний для проростання насіння, дихання коренів, для життєдіяльності мікроорганізмів. За даними Кудрявцевої, на створення 1 г сухої речовини гороху за добу витрачається 1,3-1,6 мг Кисню. Бавовник при нестачі Кисню в ґрунті скидає частину запліднених органів. Якщо в ґрунті немає Кисню, рослини гинуть. Винятком є рис, який може забезпечувати кореневу систему Киснем через листя. Пшениця, овес мають заповнені водою проміжки, через які Кисень надходить до кореневої системи. Дуже добре реагують на Кисень картопля, ячмінь, горох, бавовник, люпин. При нестачі в ґрунті Кисню починають розвиватися відновні процеси, накопичуються згубні для рослин сполуки: сірководень, метан тощо.

Об'єм усіх пор у ґрунті можна розрахувати, знаючи показники *рівноважної щільності та густину твердої фази*.

**Густина твердої фази ґрунту показує відношення маси ґрунту до маси води в тому ж об'ємі при 4°C.**

Ґрунти різних типів і навіть окремі ґрунтові горизонти мають неоднакову густину твердої фази. Зокрема, для мінеральних ґрунтів вона буває в межах 2,4-2,8 і залежить від мінералогічного складу ґрунту та кількості органічних компонентів у ньому.

**Рівноважною щільністю називається маса одиниці об'єму абсолютно сухого ґрунту, взятого в природній будові. Виражається рівноважна щільність в г/см<sup>3</sup> (т/м<sup>3</sup>).**

При визначенні рівноважної щільності враховують масу ґрунту в одиниці об'єму зі всіма порами, тому її показники будуть завжди меншими від показників густини твердої фази одного і того ж ґрунту. Величина рівноважної щільності ґрунтів змінюється в широких межах: у мінеральних ґрунтів – від 0,9 до 1,8; а в торф'яно-болотних – від 0,15 до 0,4 г/см<sup>3</sup>. Суттєво впливають на рівноважну щільність ґрунту мінералогічний та гранулометричний склад, кількість органічних речовин, структурність, а також будова, тобто взаємне розміщення частинок твердої фази ґрунту. Великий вплив на величину цього показника здійснює обробіток ґрунту.

Знаючи величину густини твердої фази і рівноважну щільність, можна розрахувати пористість даного ґрунту.

**Пористість – це сумарний об'єм пор між частинками твердої фази ґрунту, виражений у % від загального об'єму ґрунту.**

*Відношення рівноважної щільності (ОМ) до густини твердої фази (Г) складає об'єм твердої фази ґрунту, а за одиницю береться загальний об'єм ґрунту зі всіма порами.*

$$P = \left(1 - \frac{OM}{G}\right) \cdot 100$$

*P – пористість, %;*

*OM – рівноважна щільність, г/см<sup>3</sup>;*

*G – густина твердої фази, г/см<sup>3</sup>.*

Експериментально загальна пористість визначається шляхом заповнення всіх пор рідиною, об'єм якої заміряється. Для мінеральних ґрунтів інтервал показників пористості складає 25-80%, для торф'яних горизонтів ґрунтів – понад 80-90%. В агрономічному відношенні важливо, щоб ґрунти мали найбільшу капілярну пористість, коли капіляри заповнені водою і одночасно пористість аерації, не меншу 20% від загального об'єму ґрунту.

Головними складовими ґрунтового повітря (як і атмосферного), є *Кисень, Азот, вуглекислий газ і водяна пара*. Але проце-

нтне їх співвідношення в ґрунті істотно відрізняється від того, яке ми знаходимо в надґрунтовому повітрі.

Склад атмосферного повітря більш-менш постійний і спостерігаються лише незначні коливання, а ґрунтове повітря постійно змінюється. У різних ґрунтово-кліматичних зонах, у різних ґрунтах, під різними культурами ґрунтове повітря має різний склад. Найменшим коливанням підлягає кількість Азоту в ґрунтовому повітрі, найбільшим – Кисню і вуглекислого газу. При цьому, звичайно, в ґрунтовому повітрі значно менше Кисню і більше вуглекислого газу, ніж в атмосферному (табл. 15).

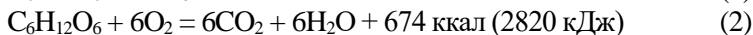
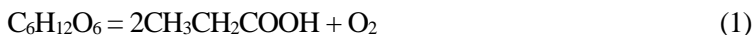
Таблиця 15

**Кількість основних газів у атмосферному і ґрунтовому повітрі (в об'ємних процентах)**

Гази	Атмосферне повітря	Ґрунтове повітря
Азот	78,08	78,08-80,24
Кисень	20,95	20,98-0,00
Аргон	0,93	–
Вуглекислий газ	0,03	0,03-20,00
Усі інші	0,04	

Основною причиною різниці у складі атмосферного і ґрунтового повітря є біологічні процеси, які перебігають у ґрунті. У процесі дихання, бродіння, гниття проходить поглинання Оксигену та виділення вуглекислого газу. Певна кількість CO<sub>2</sub> поглинається коренями рослин із ґрунтового повітря, а також мікробами – автотрофами. Бульбочкові і вільноживучі бактерії – азотфіксатори – зв'язують Азот повітря, денітрифікуючі мікроорганізми – звільняють Азот.

***В анаеробних умовах рослини також дихають Оксигеном (гліколіз).***



Різна концентрація Кисню і вуглекислого газу в ґрунтовому повітрі визначається двома групами протилежно спрямованих процесів. З одного боку, інтенсивністю споживання Кисню і продукуванням вуглекислого газу, а з іншого – швидкістю газообміну між ґрунтовим і атмосферним повітрям.

### 3.5.2. Форми ґрунтового повітря та повітряно-фізичні властивості ґрунтів

Повітря в ґрунті знаходиться у чотирьох фізичних станах: *вільне, защемлене, адсорбоване й розчинне*.

**Вільне ґрунтове повітря** – це суміш газів і летких органічних сполук, які вільно переміщуються системою ґрунтових пор і з'єднуються з повітрям атмосфери.

Вільне ґрунтове повітря забезпечує аерацію ґрунтів і газообмін з атмосферою.

**Защемлене ґрунтове повітря** – знаходиться у порах, з усіх боків **ізолюване водяними пробками**.

Найбільша кількість защемленого повітря в ґрунті буває у випадку тонкодисперсності ґрунтової маси й компактної її упаковки. У суглинкових ґрунтах кількість його досягає більше 12% від загального об'єму ґрунту, або четвертої частини його порового простору. Воно нерухоме, не бере участі в газообміні між ґрунтом і атмосферою, суттєво перешкоджає фільтрації води в ґрунті, може спричиняти руйнування ґрунтової структури при коливанні температури, тиску, вологості.

**Адсорбоване ґрунтове повітря** – гази й леткі органічні сполуки, адсорбовані ґрунтовими частинками на їх поверхні.

Чим дисперсніший ґрунт, тим більше містить він адсорбованих газів при даній температурі. Кількість сорбованого повітря залежить від мінералогічного складу ґрунтів, вмісту органічної речовини,

$$Pz.n. = Pz.a. - Pz.g.$$

*Pz.n.* - загальна повітроємність, %;

*Pz.a.* - загальна пористість, %;

*Pz.g.* - об'єм гігроскопічної вологи, %

$$Pa. = Pz.a. - Pk.$$

*Pa.* - пористість аерації, %;

*Pz.a.* - загальна пористість, %;

*Pk.* - об'єм капілярної пористості, %

$$Pv. = Pz.a. - Pw.$$

*Pv.* - повітровміст, %;

*Pz.a.* - загальна пористість, %;

*Pw.* - об'ємна вологість ґрунтів, %



вологості. Пісок поглинає повітря в 10 разів менше, ніж важкий суглинок: відповідно 0,75 і 6,00 см<sup>3</sup>/г. Тонкодисперсний кварц сорбує СО<sub>2</sub> у 100 разів менше, ніж гумус: відповідно 12 і 1264 см<sup>3</sup>/г.

**Розчинене повітря – це гази, розчинені в ґрунтовій воді. Це повітря обмежено може брати участь в аерації ґрунту.**

Але розчинні гази відіграють велику роль у забезпеченні фізіологічних потреб рослин, мікроорганізмів, ґрунтової фауни, а також фізико-хімічних процесів, які протікають у ґрунті.

**Загальною повітроємністю ґрунтів називають максимально можливу кількість повітря, яка може міститися в повітряно-сухому ґрунті непорушеної будови при нормальних умовах.**

Загальну повітроємність ( $P_{з.п.}$ ) виражають у процентах до всього об'єму й визначають за відповідною формулою.

Повітроємність ґрунтів залежить від їх гранулометричного складу, складення, ступеня оструктурення. Необхідно розрізняти *капілярну* й *некапілярну* повітроємність. Ґрунтове повітря, яке міститься в капілярних порах малого діаметра, характеризує капілярну повітроємність ґрунтів. Велика кількість у ґрунті цього повітря свідчить про низьке переміщення газів у межах ґрунтового профілю. Це характерно для важкоглинистих, безструктурних, щільних та здатних до бубнявіння ґрунтів, що викликає розвиток у них процесів оглеєння.

Суттєве значення для забезпечення нормальної аерації ґрунтів має некапілярна повітроємність, або пористість аерації, тобто *повітроємність міжагрегатних пор*. Вона охоплює великі пори, ходи коренів і черв'яків у ґрунтовій товщі. Некапілярна повітроємність ( $P_a$  – пористість аерації) визначає кількість повітря, яка існує в ґрунтах при їх капілярному насиченні вологою.

У добре оструктурених ґрунтах некапілярна повітроємність досягає найбільших значень – 25-30%.

**Повітровміст – кількість повітря, яка міститься в ґрунті при визначеному рівні зволоження.**

Оскільки повітря і вода в ґрунтах є антагоністами, існує чітка від'ємна кореляція між волого- і повітровмістом.

**Повітропроникність – здатність ґрунту пропускати через себе повітря.**

Вона визначає швидкість газообміну між ґрунтом і атмосферою. Залежить від гранскладу ґрунту та його оструктуреності, від об'єму й будови порового простору. Переважно визначається некапілярною пористістю. Необхідно також звернути увагу на залежність некапілярної пористості від стану поверхні ґрунту, його розпушеності, наявності кірки.

За складом ґрунтового повітря суттєво відрізняється від атмосферного. Основні компоненти атмосферного повітря – Азот (78,08%), Кисень (20,95%), вуглекислий газ (0,03%), Аргон (0,93%). На частку решти газів припадає лише 0,04% об'єму. Атмосферне повітря має досить постійний склад і коливання у вмісті основних компонентів на різних висотах і в різних точках земної кулі незначні.

У ґрунтовому повітрі порівняно з атмосферним менше Оксигену і більше вуглекислого газу. Може змінюватися в межах кількох процентів і вміст Азоту. Зменшення кількості Нітрогену в ґрунті відбувається в результаті зв'язування його вільноживучими або симбіотичними азотфіксаторами, а збільшення – внаслідок розкладу білкових речовин і денітрифікації. У ґрунтовому повітрі болотних і заболочених ґрунтів у підвищених концентраціях можуть міститися аміак, метан, Водень, сірководень. Постійними складниками ґрунтового повітря є нелеткі органічні сполуки (вуглеводні жирного та ароматичного рядів, складні альдегіди, спирти та ін.), що утворюються в процесі життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів. Ці сполуки можуть поглинатися кореннями, поліпшуючи ріст рослин.

ґрунтового повітря відрізняється динамічністю. Найбільш змінними в ґрунтовому повітрі є  $O_2$  і  $CO_2$ . Їх вміст у ґрунтах дуже коливається відповідно до інтенсивності споживання Кисню й продукування вуглекислого газу, а також швидкості газообміну між ґрунтом і атмосферою. У ґрунтовому повітрі може бути  $CO_2$  у десятки й сотні разів більше, ніж в атмосферному, а концентрація  $O_2$  може знижуватись з 20,9 до 15-10% і нижче. В орних, добре аерованих ґрунтах кількість  $CO_2$  у ґрунтовому повітрі не перевищує 1-2%, а кількість  $O_2$  не буває нижчою за 18%. В орних ґрунтах важкого гранулометричного складу вміст  $CO_2$  може досягати 4-6 % і більше, а  $O_2$  падати до 8-15 %.

*Кисень (Оксиген)* виконує величезну роль у біосфері в цілому і в ґрунтовому повітрі, зокрема. Достатній вміст Кисню забезпечує необхідний рівень мікробіологічної діяльності, дихання коренів рослин і ґрунтових тварин. Дефіцит Оксигену пригнічує розвиток кореневих волосків, викликає масову загибель сходів рослин, провокує розвиток хвороботворних мікроорганізмів. Анаеробний процес починає розвиватися при зниженні вмісту Кисню до 2,5%. Концентрація Оксигену в ґрунтовому повітрі коливається від 0 до 21,0%.

*Вуглекислий газ.* Існує думка, що вуглекислий газ атмосфери на 90% має ґрунтове походження. Процеси дихання, розкладання органічної речовини постійно поповнюють запаси CO<sub>2</sub>. Вуглекислий газ забезпечує асиміляційний процес рослин. Водночас його надлишок у складі ґрунтового повітря (більше 3%) пригнічує розвиток рослин, уповільнює проростання насіння, скорочує надходження води в рослинні клітини. Оптимальні рівні концентрацій CO<sub>2</sub> у складі ґрунтового повітря коливаються в межах 0,3-3,0%.

Існує високоінформативний показник біологічної активності ґрунтів, так зване «дихання ґрунтів». Воно характеризується швидкістю виділення CO<sub>2</sub> за одиницю часу з одиниці поверхні. Коливається від 0,01 до 1,5 г/м<sup>2</sup>·год.

Динаміка ґрунтового повітря визначається сукупністю всіх явищ надходження, переміщення й трансформації газів у межах ґрунтового профілю, а також взаємодією газової фази з твердою, рідкою й живою фазами ґрунту. Вона має добовий і сезонний (річний) хід. Крім того, ґрунтове повітря різко реагує на додаткове надходження вологи в ґрунт.

*Добова динаміка* визначається добовим ходом атмосферного тиску, температур, освітлення, зміною швидкості фотосинтезу. Ці параметри контролюють інтенсивність дифузії, дихання коренів, мікробіологічної активності, інтенсивність сорбції й десорбції, розчинності й дегазації.

*Сезонна (річна) динаміка* визначається річним ходом атмосферного тиску, температур та опадів і тісно зв'язаними з ними вегетаційними ритмами розвитку рослинності та мікробіологічної діяльності.

### 3.5.3. Газообмін у ґрунті

**Процеси обміну ґрунтового повітря з атмосферним називається аерацією, або газообміном.**

Газообмін здійснюється через систему повітроносних пор під дією дифузії, зміни температури ґрунту, барометричного тиску, рівня ґрунтових вод, кількості вологи в ґрунті, вітру. Основним фактором аерації ґрунтів, газообміну між ґрунтом й атмосферою є *дифузія*.

**Дифузія – це процес переміщення газів відповідно до їх парціального тиску.**

Оскільки у ґрунтовому повітрі концентрація кисню завжди менша, а вуглекислого газу – більше, ніж в атмосфері, то під впливом дифузії створюються умови для безперервного надходження кисню в ґрунт і виділення  $\text{CO}_2$  в атмосферу.

Зміна температури і барометричного тиску зумовлює газообмін, тому що при цьому відбувається стискування або розширення ґрунтового повітря.

Надходження вологи до ґрунту з опадами, або при зрошенні викликає стискування ґрунтового повітря, його виштовхування з пор і надходження атмосферного повітря. Газообмін проходить і при випаровуванні води з ґрунту, коли звільнені пори і пустоти заповнюються атмосферним повітрям. Однак цей процес перебігає повільно і його роль у газообміні незначна.

Вплив вітру на газообмін незначний і залежить від його швидкості, макро- і мікрорельєфу і структури ґрунту й сильніше проявляється на пористих ґрунтах без рослинного покриву.

Перелічені фактори діють на газообмін комплексно, однак головним фактором надходження кисню в ґрунт та виділення вуглекислого газу є дифузія.

**Швидкість дифузії газів залежить від швидкості теплового руху молекул газів і від довжини їх вільного пробігу.**

Швидкість теплового руху молекул дуже висока (для  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  і парів води вона складає 461, 493, 393, 1838 і 615 м/с відповідно), і якби дифузія залежала тільки від теплового руху молекул, то вона в атмосфері проходила б миттєво. Однак цього не спостерігається. Внаслідок незначної довжини вільного про-

бігу молекул газів (для  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$  і парів води вони в середньому дорівнюють  $10,2 \cdot 10^{-5}$ ;  $9,5 \cdot 10^{-5}$ ;  $6,5 \cdot 10^{-5}$ ;  $17,8 \cdot 10^{-5}$  і  $0,72 \cdot 10^{-5}$  см) вони стикаються одна з одною і за одиницю часу проходять значно меншу відстань, ніж та, що властива швидкості теплового руху. Тому дифузія газів у ґрунті завжди повільніша, ніж у вільній атмосфері (в 2-20 разів).

Дифузія газів у ґрунті проходить через пори аерації, тобто пори, зайняті повітрям. Однак пористість аерації, вирахована звичайним способом (різниця між загальною пористістю і вологістю ґрунту в об'ємних процентах), охоплює не тільки пори аерації, а й пори, зайняті защемленим повітрям, через які газообмін не проходить. Більше таких пор у важких безструктурних ґрунтах. Вважається, що нормальний газообмін між ґрунтовым і атмосферним повітрям здійснюється при пористості аерації 20% і сильно сповільнюється при 8-12%. Однак стан газообміну пов'язаний не тільки з сумарною кількістю пор, але і з їх розміром, який залежить перш за все від структури ґрунту. У структурному ґрунті, навіть при насиченні його водою до капілярної вологоємності, зберігається велика кількість крупних міжагрегатних пор аерації, які забезпечують нормальний газообмін. При зволоженні безструктурного ґрунту до повної вологоємності всі його пори заповнюються водою і газообмін припиняється.

Важливим показником сприятливого повітряного режиму ґрунтів є їх структура. Під структурою розуміють властивість ґрунту розпадатися на грудочки. Найбільш сприятлива в агрономічному розумінні – грудкувато-зерниста структура з розміром агрегатів від 0,25 до 7-10 мм. Важливою властивістю структури є її водостійкість – здатність агрегатів протистояти розмиваючій дії води. Цінна структура утворюється при наявності в ґрунті визначеної кількості колоїдів (глини та гумусу) і при наявності Кальцію, який цементує ґрунтові частинки між собою. Проте В. Р. Вільямс думав, що структурні грудочки можуть утворювати тільки багаторічні трави. Крім того, він вважав, що родючість ґрунту залежить тільки від ґрунтової структури. Практика показує, що безструктурні ґрунти при наявності в них оптимальної кількості всіх факторів життя рослин забезпечують одержання високих врожаїв сільськогосподарських культур.

Окрім колоїдів і Кальцію, присутність у ґрунті структурних грудочок залежить від: 1) висушування і зволоження; 2) замерзання і розмерзання; 3) тиску коренів; 4) діяльності тваринних організмів; 5) впливу ґрунтооброблювальної техніки.

### 3.5.4. Окисно-відновні процеси в ґрунтах

У ґрунті широко розповсюджені окисно-відновні процеси, і в цьому відношенні його можна розглядати як складну окисно-відновну систему. Процесами окиснення називаються:

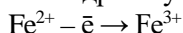
1) приєднання Кисню:  $2\text{KNO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{KNO}_3$ ;

2) віддача Водню:

$$\begin{array}{ccc} \text{CH}_2\text{COOH} & \text{CH} - \text{COOH} & \\ | & \rightarrow & || & + \text{H}_2 \\ \text{CH}_2\text{COOH} & \text{CH} - \text{COOH} & \end{array}$$

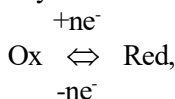
янтарна кислота      фумарова кислота

3) віддача електронів без участі Гідрогену і Оксигену:



Зворотні процеси мають назву «відновлення».

Реакції окиснення і відновлення завжди перебігають одночасно. У цьому процесі беруть участь дві або кілька речовин: одні втрачають електрони, окиснюються (реакція окиснення), інші – приєднують електрони, відновлюються (реакція відновлення). Донор електронів називається відновником (він окиснюється), акцептор – окиснювачем (він відновлюється). У загальному вигляді реакція записується так:



де Ox – окиснювач; Red – відновник; e – електрони; n – кількість електронів, що беруть участь у реакції.

Окисні процеси проходять при перетворенні органічної речовини в ґрунті. Наприклад, окиснення тирозину та інших ароматичних амінокислот є меланіни, окиснення сполук ненасиченого ряду, окиснення дубильних речовин, цукрів, амінокислот, білків та інших речовин, що входять до складу рослинних решток. У цілому процесом окиснення є також гуміфікація.

$$E_{\text{ов}} = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{A[\text{Ox}]}{A[\text{Red}]}$$

*E<sub>ов</sub>* - величина окисно-відновного потенціалу, мВ;

*E<sub>0</sub>* - нормальний потенціал, коли [Ox]:[Red]=1;

*R* - універсальна газова постійна, Дж/(моль · К);

*T* - абсолютна температура, К;

*n* - число зарядів, що переноситься іоном;

*F* - число Фарадея, Кл;

*A*[Ox], *A*[Red] - активність або концентрація окиснювачів і відновлювачів у даній системі.

Більшість реакцій окиснення органічних речовин ґрунту відноситься до групи незворотних. Зворотними окисно-відновними реакціями є широко розповсюджені в ґрунті реакції окиснення і відновлення Заліза (Феруму) ( $\text{Fe}^{3+} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$ ), Марганцю (Мангану) ( $\text{Mn}^{4+} \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+}$ ), Азоту (Нітрогену) ( $\text{N}^{5+} \rightleftharpoons \text{N}^{3+}$ ). У ґрунті проходить окиснення і відновлення Кисню (Оксигену) і Водню (Гідрогену) ( $\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{O}^{2-}$ ;  $\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}^+$ ), Сірки (Сульфуру) ( $\text{S}^{6+} \rightleftharpoons \text{S}^{2-}$ ). Більшість з цих реакцій має

біохімічну природу, тобто тісно пов'язана з розвитком мікробіологічних процесів. Тому інтенсивність останніх значно впливає на ступінь розвитку окисно-відновних процесів.

### **Основний окиснювач у ґрунті – молекулярний Кисень ґрунтового повітря та ґрунтового розчину.**

Розвиток окисно-відновних процесів у ґрунті тісно пов'язаний з умовами його аерації, а отже, й залежить від усіх властивостей ґрунтів, що визначають стан газообміну (структура, щільність, гранулометричний склад і т. ін.) і, перш за все, від вологості.

Інтенсивність і спрямованість окисно-відновних процесів залежать від стану зволоження й аерації ґрунтів, а також від вмісту в них органічної речовини і температурних умов, сприятливих для розвитку біохімічних процесів.

Погіршення аерації в результаті перезволоження ґрунту, ущільнення, утворення кірки та інші причини призводять до зниження окисно-відновного потенціалу. Найбільш різке падіння потенціалу відбувається в ґрунтах при вологості, близькій до повної вологоємності, коли порушується нормальний газообмін ґрунтового повітря з атмосферним. Крім того, суттєво впливає на окисно-відновні процеси в ґрунті вміст і форма органічних речовин. Швидке зниження величини потенціалу при перезво-

ложенні ґрунту спостерігається, як правило, тільки в гумусових горизонтах. Свіжа, не розкладена органічна речовина, що містить багато білків і розчинних вуглеводів, – найліпший матеріал для життєдіяльності мікроорганізмів, сприяє інтенсивному розвитку відновних процесів у перезволоженому ґрунті.

Для кількісної характеристики окисно-відновного стану ґрунту використовують величину окисно-відновного потенціалу (ОВП), який, як правило, опосередкований, оскільки будь-який ґрунт містить одночасно окиснені та відновлені форми сполук, що і зумовлюють величину ОВП, яку визначають експериментально.

**Окисно-відновним потенціалом ґрунту (ОВП) називають різницю потенціалів, що виникає між ґрунтовим розчином і поміщеним у ґрунт електродом із інертного металу (платини).**

Вимірюється ОВП за допомогою потенціометра й виражається в мВ. У якості електроду порівняння використовують каломельний електрод. Величина окисно-відновного потенціалу ( $E_{ов}$ ) характеризується рівнянням Нернста.

Згідно рівняння, чим вища концентрація окисника, тим вищий потенціал. Якщо активні концентрації окисника і відновника рівні, то відношення (окисн.)/(віднов.) рівне одиниці і тоді  $E_{ов}=E_0$ .

Потенціал системи, в якій активність окисника і відновника однакові (рівні 1), називається нормальним потенціалом окисно-відновної системи.

Окисно-відновний потенціал по відношенню до Водню позначають  $E_h$ .

Зміну потенціалу вираховують до умовного стандартного електрода. В електрохімії за нього прийнято водневий електрод. Потенціал стандартного нормального водневого електрода (який насичений при тиску в 1 атм (101,3 кПа) газоподібним Воднем і знаходиться в рівновазі з розчином, активність водневих іонів якого дорівнює одиниці) умовно вважається рівним нулю. Величина і знак заряду інших електродів, що використовуються

$$E_h = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[H^+]^2}{[H_2]}$$

або

$$E_h = 0,0291 \lg \frac{[H^+]^2}{[H_2]}$$



при визначенні ОВП системи, встановлюється шляхом порівняння з водневим електродом.

Напруженість окисно-відновних процесів у ґрунтах певною мірою пов'язана з умовами реакції середовища – з величиною рН. Реакція середовища впливає на інтенсивність і спрямованість мікробіологічних процесів.

Для одержання порівняльних даних по окисно-відновних умовах в середовищах з різною величиною рН Кларк запропонував використовувати показник  $rH_2$ , який являє собою від'ємний логарифм концентрації молекулярного водню.

$$rH_2 = \frac{Eh}{30} + 2 pH$$

Величина  $rH_2$ , вища 27, свідчить про переважання в ґрунті окисних процесів. Для відновних процесів у ґрунтах характерна величина, нижче 27 (22-25). При інтенсивному розвитку відновних процесів величина  $rH_2$  нижче 20.

Конкретний прояв окисно-відновних процесів у ґрунті залежить від його генетичних особливостей та стану водно-повітряного й температурного режимів. Тому різні ґрунти мають свої особливості у розвитку окисно-відновних процесів і сезонної динаміки їх прояву.

У дерново-підзолистих ґрунтах нормального зволоження величини ОВП змінюються в межах 550-750, в чорноземах 400-600 мВ. Найбільш низькими потенціалами характеризуються болотні ґрунти та ґрунти рисових полів, що перебувають під тривалим затопленням. При значеннях Eh, менше 200 мВ, спостерігається інтенсивний розвиток відновних процесів з типовими ознаками глеєутворення. Ґрунти нормального зволоження характеризуються відносно вирівняною величиною ОВП упродовж вегетаційного періоду, однак у періоди підвищеного зволоження ґрунтів і найбільш інтенсивного розвитку мікробіологічних процесів спостерігається деяке зниження його величини.

Найбільш контрастною динамікою окисно-відновних процесів характеризуються ґрунти, яким притаманне тимчасове перезволоження: дерново-підзолисті, бурувато-підзолисті, дерново-глеєві та інші.

**Роль ОВП у ґрунтоутворенні і родючості ґрунтів.** Окисно-відновні процеси пов'язані з процесами перетворення рослинних решток, накопичення гумусу. Надлишкове зволоження уповільнює розклад органічної речовини, сприяє переважному утворенню фульвокислот. При змінах умов зволоження і висушування, відновлення й окиснення, активізуються процеси розкладу органічної речовини, рослинних решток, дегуміфікації.

ОВ-режим вирішально впливає на співвідношення у ґрунті елементів з різним ступенем окиснення. При відновленні сполук заліза і марганцю підвищується їх розчинність, рухомість, вони мігрують по профілю.

З відновними явищами пов'язані розвиток у сезонно-надлишково зволених ґрунтах елювіально-глейового процесу та формування елювіальних горизонтів. При зміні відновних умов на окисні виникають залізо-марганцеві новоутворення: ортштейни, конкреції, бобовини, плівки тощо. При відновленні сульфатів з'являються  $H_2S$ ,  $FeS_2$ , які надають ґрунті темного кольору.

Поживний режим ґрунту складається несприятливо як при різко окисних, так і при різко відновних умовах: анаеробіоз призводить до накопичення у ґрунтах  $H_2S$ ,  $CH_4$ ,  $H_2$ ,  $NH_3$  і т. ін. Оптимальні умови для процесів нітрифікації створюються при Eh 350-500 мВ. Головний прийом регулювання ОВ умов – оптимізація водно-повітряного режиму ґрунтів.

### **3.5.5. Регулювання повітряного режиму ґрунтів**

Регулювання повітряного режиму ґрунтів здійснюється агротехнічними і меліоративними заходами. Велике значення мають також заходи із забезпечення нормального газообміну: руйнування кірки, що утворюється на поверхні ґрунту після випадання дощів або поливів, підтримання поверхні ґрунту в розпушеному стані, що поліпшує повітропроникність ґрунту та ін.

Поліпшення повітряного режиму особливо необхідне в зонах, де розповсюджені ґрунти з надлишковим зволоженням. Продуктивність угідь на болотних і заболочених ґрунтах лімітується поганою аерацією та нестачею Кисню. Тому повітряний режим цих ґрунтів регулюють осушуванням, тобто одночасно з регулюванням водного режиму.

Створення сприятливих параметрів повітряного режиму відбувається одночасно при створенні оптимального водного режиму.

### **Контрольні питання**

1. Дайте визначення густини твердої фази, об'ємної маси і пористості ґрунту.
2. Назвіть форми ґрунтового повітря.
3. Що таке повітроємність, повітропроникність та повітровміст?
4. Схарактеризуйте склад ґрунтового повітря.
5. Від чого залежить вміст  $O_2$  і  $CO_2$  в ґрунтовому повітрі?
6. Перелічіть умови, що визначають газообмін у ґрунті.
7. Що таке дифузія?
8. Дайте характеристику окисно-відновних процесів у ґрунті.
9. Яку роль відіграють окисно-відновні процеси в ґрунті та формуванні родючості ґрунту?

### 3.6. Мікробіологічний і поживний режими ґрунту та їх регулювання

#### 3.6.1. Жива фаза ґрунту, еколого-географічне розповсюдження мікроорганізмів у ґрунтах

Ґрунт населяють багато рослинних і тваринних організмів, різних за розмірами, з неоднаковою активністю. Вони беруть участь в генезисі та еволюції ґрунту в якості факторів біологічного вивітрювання та гумусоутворення, мобілізуючи поживні речовини, значно зумовлюють формування родючості ґрунту.

Як тваринні так і рослинні організми, що заселяють ґрунт, поділяються на макро- і мікроорганізми.

Макроорганізми представлені *макрофлорою* і *макрофауною*. Найбільш розповсюджені з макрофауни – гризуни, комахоїдні, комахи, двопарноногі, рівноногі, кліщі, черевоногі, моллюски, багатоніжки, павуки та кільчасті черви. Життєвий цикл або значна його частина багатьох представників макрофауни проходить у ґрунті. Вони сприяють перемішуванню ґрунту, підтриманню грудкуватої структури, поліпшенню аерованості та дренажності ґрунту. Вони можуть впливати також на хімічні перетворення, що проходять у ґрунті безпосередньо в результаті власних процесів травлення або побічно, знищуючи бактерії, гриби, найпростіші і т. ін. Після відмирання вони є джерелом органічної речовини ґрунтів.

Одними з організмів, що беруть найактивнішу участь у процесах ґрунтоутворення є *дощові черви*. Ч. Дарвін уперше припустив можливість створення ними гумусу. Він вважав, що весь поверхневий шар ґрунту за багато років неодноразово проходив і ще не раз пройде через шлунково-кишковий тракт червів. Існує думка, що головну роль у створенні зернистої структури чорноземів відіграли саме дощові черви.

У різних кліматичних зонах кількість дощових червів у ґрунті на 1 га різна (від кількох сотень до мільйона і більше). Загальна біомаса їх – 30-500 кг/га. Дощові черви віддають перевагу вологим ґрунтам, з високим вмістом органічної речовини та Кальцію. Більша чисельність їх, як правило, у важких за гранулометричним складом ґрунтах, з нейтральною або слабокислою

реакцією. Їх чисельність, активність і видовий склад сильно змінюється під впливом реакції середовища та інших факторів.

*Макрофлора* представлена в основному кореннями рослин, які є головним джерелом органічної речовини ґрунту. Ця форма повернення органічної речовини в орні ґрунти у вигляді кореневих решток є необхідною умовою як для підтримання запасів гумусу, так і для живлення мікроорганізмів. Крім того, корені вищих рослин порушують рівновагу ґрунтових розчинів, засвоюючи з них розчинні сполуки, а також вибірково вилучаючи поживні речовини з допомогою кислот, що концентруються на їх поверхні. Завдяки корневим виділенням вищих рослин стимулюється розвиток мікрофлори, що знаходиться в ризосфері.

Значну роль у педогенезі відіграє мікрофауна, зокрема найпростіші та ґрунтові нематоди.

*Найпростіші* – найбільш просто організовані тваринні форми. Вони складаються з однієї крупної клітини. У ґрунті знайдено майже 250 видів найпростіших. У 1 г ґрунту може нараховуватися 0,5 – 1 млн. *джгутикових*, 100-500 тис. *амеб*, 800-1000 – *війчастих*. Біомаса найпростіших складає 100-300 кг/га. Основні фактори, що регулюють розподіл найпростіших у ґрунті, – аерація та джерела поживних речовин. Вони зосереджені переважно в поверхневому шарі ґрунту й зростання чисельності спостерігається весною та восени. Найпростіші можуть знищувати фітопатогенні бактерії, сприяючи омолодженню складу популяції важливих у функціональному відношенні груп мікроорганізмів і підтримують її в активному стані.

*Нематоди* – поширені в більшості ґрунтах. Їх чисельність досягає кількох мільярдів на 1 га. За способом живлення нематоди поділяються на три групи: 1) нематоди, які живляться органічними речовинами, що розкладаються; 2) нематоди, які живляться іншими нематодами, мікроорганізмами, найпростішими, рослинами, бактеріями тощо; 3) нематоди, які проникають у корені вищих рослин і проводять там частину свого життєвого циклу. Найпоширеніші в ґрунті – представники першої групи, які сприяють розкладанню органічних речовин, їх перемішуванню з мінеральною частиною ґрунту і поліпшенню аерації ґрунту.

*Мікрофлора* ґрунту складається з організмів, які можна поділити на три великі групи за розміром і ступенем подібності та розмістити по низхідній у такому порядку: *водорості*, *гриби* та *бактерії*.

*Водорості* – розповсюджені переважно в поверхневих шарах ґрунту. Більшість із них містять хлорофіл, здатні фотосинтезувати і продукувати первинну органічну речовину. Більшість ґрунтових водоростей – мікроскопічні організми, але, на відміну від інших мікроорганізмів, скупчення водоростей легко помітити неозброєним оком при їх рясному розвитку в ґрунті. Особливо інтенсивно розвиваються водорості на польових ґрунтах до посіву і після збирання врожаю сільськогосподарських рослин. При цьому відбувається позеленіння ґрунту, що одержало назву «цвітіння». Найчастіше цвітіння ґрунту буває навесні і восени при сполученні сприятливих умов вологості, температури, освітленості й забезпеченості елементами живлення. Цвітіння ґрунту вважається в народі прикметою доброго врожаю. У цей період на 1 см<sup>2</sup> поверхні ґрунту може розвиватися до 40 млн клітин, а їх біомаса сягає 1,5 т/га. Після відмирання ця біомаса надходить у біологічний кругообіг і використовується іншими мікроорганізмами, а через них – вищими рослинами.

Водорості виявляються в усіх ґрунтах, у т. ч. у ґрунтах пустель і напівпустель. Чисельність і біомаса водоростей варіює в одному і тому ж ґрунті в залежності від вологості, сольового режиму й умов освітлення. Кількість клітин в 1 г ґрунту складає від 5 тис. до 1,5 млн, сягаючи максимальних значень на ґрунтах, не зайнятих суцільним покривом вищих рослин, наприклад на паруючому полі, по стерні, у кірковому солончаку, на такирі. Біомаса їх у шарі 0-10 см сягає іноді сотень кг/га. Річна продукція ґрунтових водоростей у різних ґрунтах коливається від 50 до 1500 кг/га.

Функції водоростей у ґрунтах визначаються насамперед їхньою належністю до фотоавтотрофної групи організмів – первинних продуцентів органічної речовини. Продуктивність водоростей у наземних біогеоценозах, природно, незрівнянно менша, ніж вищих рослин, однак їхня біомаса мінлива, вона швидко

накопичується при сприятливих умовах і легко мінералізується, а також служить поживною базою для безхребетних тварин.

Водорості впливають на структуру, кисневий режим ґрунтів, нагромадження в них Азоту (Нітрогену). Ґрунтові водорості можуть бути біоіндикаторами процесів, що перебігають у ґрунті, газового і сольового режимів, забруднення ґрунтів продуктами промислової діяльності людини.

Водорості, як і всі еукаріоти, не здатні зв'язувати молекулярний азот. Тільки синьо-зелені водорості, чи ціанобактерії, відносяться до азотфіксуючих мікроорганізмів – прокаріотів. Джерелами Азоту (Нітрогену) при рості водоростей, як і для вищих рослин, у ґрунті є амонійні і нітратні сполуки. У цьому відношенні водорості виступають конкурентами рослин за доступні форми Азоту. Однак розвиток водоростей у ґрунті ранньою весною чи пізньою осінню після збирання врожаю може сприяти тимчасовому закріпленню (імобілізації) розчинних сполук Азоту і запобіганню їхнього вимивання з ґрунту.

У ґрунті виявляються представники далеко не всіх відомих груп водоростей. Загальна кількість видів водоростей, знайдених у ґрунтах, наближається до 2000. Флористична особливість угруповання ґрунтових водоростей – досить висока видова розмаїтість жовто-зелених (приблизно 10% від загального числа видів), тоді як у водних середовищах їх частка не перевищує 2%. Серед ґрунтових водоростей приблизно порівну і найбільшим числом видів представлені зелені та синьо-зелені (близько 500 видів кожного відділу), далі йдуть діатомові (близько 300 видів) і жовто-зелені (більш 150) і дуже мало євгленових і пірофітових. З червоних водоростей геобіонтів відомий всього один вид.

Залежно від умов, водорості можуть вести спосіб життя, подібний до вищих рослин (на світлі, в верхніх шарах ґрунту), або подібний до менш організованих форм (у більш глибоких шарах ґрунту, без доступу Кисню (Оксигену)), як, наприклад, гриби.

На відміну від водоростей, у грибів відсутній хлорофіл, вони належать до облігатних гетеротрофів. Ці організми складають окреме царство, до якого входять еукаріоти з відносно про-

стою організацією – від одноклітинних до нитчастих, міцеліальних, що розмножуються спорами. Розростаючись на поверхні чи в глибині субстрату, гриби стикаються з ним клітинною оболонкою, через яку вони виділяють у зовнішнє середовище ферменти і поглинають поживні речовини абсорбтивним шляхом. Такий тип взаємодії із субстратом визначає положення грибів як деструкторів органічних речовин у екосистемах. Ґрунтові гриби представляють найбільшу екологічну групу, яка бере участь у мінералізації органічних решток рослин і тварин і в утворенні ґрунтового гумусу.

Основна вегетативна структура грибів – гіфа; сукупність гіф утворює міцелій, чи грибницю. Гіфи мають ниткоподібну будову і здатні обплітати ґрунтові частинки, створюючи умови для біогенного структуроутворення.

Гриби синтезують і виділяють у зовнішнє середовище різноманітні гідролітичні ферменти, що розкладають будь-які органічні субстрати, аж до лігніну. Завдяки цим здатностям вони виконують функцію деструкторів в аеробній зоні. За добу гриби розкладають у 2-7 разів більше органічної речовини, ніж споживають. Цим вони відрізняються від консументів. Екологічні групи грибів поділяють за спеціалізацією на субстратах.

Багато ґрунтових грибів утворюють темнозabarвлений міцелій за рахунок синтезу й акумуляції в гіфах меланіноподібних (чорних) пігментів. Після відмирання і лізису міцелію ці речовини накопичуються в ґрунті в складі ґрунтового гумусу. Гриби в процесі метаболізму утворюють і виділяють у середовище багато органічних кислот, які сприяють розчиненню важкодоступних фосфатів і впливають на живлення рослин фосфором та іншими елементами, що вилучаються з мінералів. Ґрунтові гриби здатні здійснювати процес гетеротрофної нітрифікації, що має значення в кислих лісових ґрунтах, де автотрофна нітрифікація відсутня. Гриби-хижаки знищують шкідливих нематод і амеб і представляють перспективу для розробки біологічних методів боротьби зі шкідниками корневих систем рослин.

Найчисленнішими в ґрунтах є представники пліснявих грибів і базидіоміцетів. Зокрема, останні в лісових ґрунтах викликають утворення мікоризи. Гриби можуть жити в умовах част-



кового анаеробіозису, однак аеробні умови стимулюють їх розвиток. Чисельність грибів у поверхневому шарі ґрунту може складати від 8000 до 1000000 на 1 г ґрунту, а біомаса – 1000-1500 кг/га і більше.

*Бактерії* в окультурених ґрунтах переважають усі інші організми як за чисельністю, так і за різноманітністю. Розміри їх близькі до розмірів колоїдних частинок. Кількість бактерій у ґрунті змінюється від 0,3 до 95 млн і може сягати навіть 4 млрд в 1 г ґрунту. У високородючих ґрунтах їх біомаса сягає 500 кг/га і більше. Ці мікроорганізми – багатофункціональні, вони беруть участь у всіх циклах перетворення хімічних елементів. Залежно від функціональних і фізіологічних особливостей виділяють бактерії, що розкладають вуглецевмісні сполуки, азотофіксатори, амоніфікатори, нітрифікатори, денітрифікатори, фосфат-мобілізатори, залізобактерії, сіркобактерії, галобактерії, метаногени і т.п.

Особливу групу серед бактерій складають *актиноміцети*. Це міцеліальні бактерії різного ступеня морфологічної диференціації, але подібні між собою за біохімічними показниками. Міцелій актиноміцетів дуже тонкий – менше 1,5 мкм у діаметрі. При рості на щільних поживних середовищах міцелій проникає в субстрат (субстратний міцелій), а частина розвивається над субстратом (повітряний міцелій). Виділено кілька груп актиноміцетів, серед яких найбільш важлива роль у ґрунтоутворенні належить нокардіям (беруть участь у мінералізації органічних речовин у ґрунтах на пізніх стадіях сукцесії, розкладають складні сполуки, у тому числі і молекули гумінових кислот) і стрептоміцети (найпоширеніші ґрунтові актиноміцети, що розкладають вуглеводи та виділяють у ґрунт антибіотики).

Чисельність цих організмів в 1 г ґрунту може змінюватися від сотень тисяч до мільйонів, а біомаса їх може складати 700 кг/га. Вони добре розвиваються в не дуже кислих і не дуже вологих ґрунтах, збагачених органічними речовинами. Більшість з них є аеробними організмами.

Бактерії є *гетеротрофні й автотрофні*. Гетеротрофи використовують енергію та Вуглець (Карбон), що містяться в складних органічних сполуках. Автотрофи використовують енергію, що виділяється при окисненні мінеральних речовин, добуваючи

Карбон з вуглекислого газу, Нітроген – з мінеральних сполук. До автотрофів належать нітрифікуючі, водневі, сірко- та залізо-бактерії. Бактерії відрізняються між собою за реакцією на умови оточуючого середовища. Тому природа, активність і чисельність бактерій різних типів залежать одночасно від наявності поживних речовин і ґрунтових умов.

Температурні умови, що складаються у ґрунті, суттєво впливають на чисельність мікроорганізмів і мікробіологічні процеси в ґрунті. Слабкий мікробіологічний розклад органічної речовини розпочинається при температурі 0°C. Однак відомі випадки бактеріального розкладу при -5°C. Для різних ґрунтових сапрофагів верхня межа оптимальної температури складає 15-30°C, для мікроорганізмів -35°C.

Мікроорганізми порівняно з ґрунтовими тваринами можуть переробляти органічні рештки за умов досить низької вологості влітку. Вони можуть проявляти активність при вологості ґрунту, що наближається до максимальної гігроскопічності, і здатні засвоювати вологу, малодоступну вищим рослинам. Оптимальна вологість для більшості мікроорганізмів – 60-80% від ПВ. Актиноміцети досить добре розвиваються при низькій вологості (20% від ПВ).

Отже, головними екологічними факторами, що визначають природу та кількість живих організмів у ґрунтах, є органічні рештки, температура та вологість ґрунту. Ці ж фактори визначають і географічне розповсюдження мікроорганізмів у ґрунтах. У регіонах з більш сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами ґрунти, що містять більше органічних речовин, більше заселені живими організмами.

### **3.6.2. Взаємозв'язок ґрунтових мікроорганізмів і рослин**

Мікроорганізми в ґрунті є частиною складного біоценозу і проявляють по відношенню один до одного і на вищі рослини пригнічуючу або стимулюючу дію. Основними типами взаємовпливу між ґрунтовою біотою є *симбіоз*, *метабіоз*, *антагонізм*, *паразитизм*.

*Симбіоз* – це форми існування, співжиття різних видів, які вигідні обом видам чи одному з них без спричинення шкоди іншому.

Прикладом симбіозу може бути мікориза (рис. 9), коли на коренях і в клітинах коренів як дерев'янистих, так і трав'янистих рослин розповсюджується міцелій грибів. Міцелій грибів виконує функції всмоктуючого апарату кореневої системи, забезпечуючи рослини водою та елементами живлення. А гриби використовують вуглеводи, в тому числі цукор, а також деякі оксикислоти й амінокислоти, що надходять з листя в корені рослин. Яскраво виражений симбіоз спостерігається між бульбочковими бактеріями і бобовими рослинами.



Рис. 9. Ендо (1) та екзомікориза (2)

Один із широко розповсюджених типів взаємовідносин між мікроорганізмами в ґрунті є *метабіоз*. Типовий прикладом метабіозу, – взаємовідносини між азотобактером і целюлозорозкладаючими бактеріями. Ці організми в процесі своєї життєдіяльності створюють умови, сприятливі для взаємного розвитку.

Швидка мінералізація органічної речовини в ґрунті проходить лише завдяки спільній діяльності різних груп мікроорганізмів. Розвиток *облігатних анаеробних бактерій* у ґрунті неможливий, якщо разом з ними не розвиваються *аеробні бактерії*, що поглинають молекулярний Кисень (Оксиген). Розвиток у ґрунті бактерій другої фази процесу нітрифікації неможливий без діяльності нітрифікуючих бактерій першої фази цього процесу, що окиснюють аміак в азотну кислоту.

*Паразитизм* зустрічається як серед макроорганізмів, так і серед мікроорганізмів. Це такі форми взаємовідносин між організмами, коли один організм живе і живиться за рахунок іншого протягом тривалого часу і призводить його до загибелі. Розрізняють *фіто-* і *зоопаразитизм*.

**Внутрішні паразити називаються ендопаразитами, зовнішні – ектопаразитами.**

Явище паразитизму використовується для розробки біологічних методів захисту культурних рослин від шкідників та хвороб.

Антагоністичні взаємовідносини між мікроорганізмами пояснюються тим, що одні групи мікроорганізмів виділяють у середовище речовини, що стимулюють розвиток інших груп мікроорганізмів. Так, окремі види актиноміцетів виділяють у ґрунт речовини (антибіотики), що стимулюють розвиток деяких бактерій.

Взаємодія між мікроорганізмами і рослинами продовжується й після відмирання останніх. Вона призводить до повної мінералізації рослинних решток або до утворення гумусу.

Одним з важливіших показників рівня родючості ґрунту та умов росту і розвитку культурних рослин є *біологічна активність ґрунту*, яка характеризує діяльність ґрунтової біоти.

**Під біологічною активністю розуміють загальну біогенність ґрунту, що визначається підрахунком загальної кількості мікроорганізмів у ґрунті.**

Іноді для характеристики біологічної активності ґрунту визначають кількість окремих фізіологічних груп мікроорганізмів, наприклад, нітрифікуючих або целюлозорозкладаючих бактерій і т. ін.

**Виділення вуглекислого газу з ґрунту в приземний шар атмосфери називається диханням ґрунту.**

Інтенсивність дихання ґрунту залежить від його властивостей, гідротермічних умов, характеру рослинності, агротехнічних заходів. Виділення  $\text{CO}_2$  ґрунтом посилюється при його окультурюванні в зв'язку з активізацією біологічних процесів і поліпшенням умов аерації. Зниження виділення  $\text{CO}_2$  ґрунтом (зниження біологічної активності) може погіршити надходження Кисню (Оксигену) в ґрунт, що обумовлюватиме утворення токсичних речовин.

За умов нестачі Кисню кореневі виділення рослин та проміжні продукти мінералізації гумусу перетворюються у сильно-відновлені сполуки, що зумовлює створення вогнищ токсичності в ґрунті. При цьому в зоні коренів деяких рослин вибірково накопичуються деякі групи мікроорганізмів, що несприятливо впливають на рослини.

Отже, взаємозв'язок ґрунтових мікроорганізмів і рослин значною мірою зумовлює продуктивність останніх, а біологічна активність ґрунту є інтегральним показником його родючості.

### **3.6.3. Потреба сільськогосподарських рослин в елементах живлення**

Засоби регулювання хімічних умов родючості ґрунту і методи хімічного впливу на врожай та його якість у зв'язку із внесенням добрив детально вивчаються в курсі агрохімії. Проте у курсі землеробства не можна не зупинитись на питаннях поживного режиму, оскільки обробіток ґрунту і сівозміна істотно впливають на фізико-механічні властивості, мікробіологічну діяльність і динаміку ґрунтових елементів живлення рослин. З іншого боку, потреба рослин в елементах живлення забезпечується, в основному, із природних ґрунтових фондів. Підрахунки вчених показують, що в нашій країні в 1980 році врожайми взято із ґрунту Азоту (Нітрогену), Фосфору та Калію 60-70%, а із добрив – 30-40%. В майбутньому ця рівновага буде зміщуватись у бік збільшення частки мінеральних добрив, економічної родючості ґрунту.

Найбільший і високої якості врожай можна одержати лише при певному і безперервному забезпеченні потреб рослин в елементах живлення. В рослинах можуть бути всі елементи, які зустрічаються в ґрунті, але серед них сім елементів (С, О, Н, N, P, S, Mg) є головними. Решта елементів необхідні для нормального обміну речовин. За даними Каталимова, середній хімічний склад молодих рослин характеризується такими цифрами (% по відношенню до сухої речовини): Карбон – 42,1, Оксиген – 37,9, Гідроген – 5,5, Нітроген – 4,3, Сульфур – 0,3, Калій – 5,5, Кальцій – 0,6, Ферум – 0,03, Манган – 0,01, Бор – 0,001, Мідь (Купрум) – 0,001, Цинк – 0,002, Молібден – 0,0002. При недостатці будь-якого із цих елементів порушується життя рослин, знижується врожай.

Потреба рослин в елементах живлення залежить від величини врожаю, виду і сорту рослин, їх віку, рівня агротехніки, від властивостей ґрунту. Приблизний вміст Азоту, Фосфору і Калію з урожаєм основної продукції (кг/т) наведені в табл. 16.

**Винос Нітрогену, Фосфору і Калію  
з урожаєм основної продукції (кг/т)**

Культура	Основна продукція	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Пшениця озима	зерно	37	13	20
Пшениця яра	зерно	47	12	18
Жито озиме	зерно	31	14	28
Кукурудза	зерно	34	12	37
Горох	зерно	66	16	20
Льон-довгунець	насіння	106	53	93
Коноплі	волокно	200	62	100
Бавовник	сирець	40	12	48
Цукровий буряк	корені	5,9	1,8	7,5
Картопля	бульби	6,2	2,0	14,5
Конюшина червона (фаза цвітіння)	сіно	11,7	5,6	15,0

Щорічний винос урожаєм окремих елементів живлення рослин покривається із ґрунтових запасів. Валових запасів поживних речовин досить для одержання врожаїв протягом 50-100 років. Рослини використовують поживні речовини з легкодоступних форм. Тому в завдання землеробства входить забезпечення умов, при яких можливий перехід поживних речовин ґрунту в доступні рослинам форми.

#### **3.6.4. Типи живлення рослин**

Рослинний організм починає жити з моменту проростання насіння. Перш за все іде *гетеротрофне живлення, тобто живлення за рахунок поживних речовин, відкладених у насінні*. Воно триває доти, поки проросток не з'явиться на денній поверхні і не позеленіє. Потім іде змішане живлення: *гетеротрофно-автотрофне*.

Гетеротрофний період живлення дуже короткий і довжина його залежить від кількості поживних речовин, відкладених у насінні. Необхідно висівати тільки доброякісне насіння. Тому в кожному господарстві повинна бути розв'язана проблема насіння. Насінневі ділянки необхідно розміщувати по найліпших агрофонах, вносити достатню кількість добрив (особливо азотних, фосфорних і калійних) і мікродобрив.

Кукурудза має велике зерно, поживні речовини насіння використовуються не повністю, рослини переходять на автотрофне живлення раніше від часу, коли повністю використовуються поживні речовини, які знаходяться в насінні. Плід цукрового буряка являє собою клубочок з 2-5 зародків, і тому відбір насіння за величиною не має значення. Необхідно тільки добре очистити насіння від домішок, бо вони заважають при посіві.

*Автотрофне живлення відбувається як з ґрунту, так і з приземного шару повітря.* CO<sub>2</sub> надходить в рослину із повітря через продири і кутикулу. Надходить Вуглець також і з ґрунту у вигляді гідрокарбонатного іону (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Для рослин необхідні мікроелементи, а також ультрамікроелементи. Усі ці поживні елементи поглинаються із ґрунту з допомогою кореневої системи рослин. У даний час існує *адсорбційно-обмінна теорія живлення*. Обмін іонів проходить еквівалентно. Еквівалент показує, скільки вагових одиниць може приєднати або віддати один елемент другому елементу. Із коренів у ґрунт виділяються іони CO<sub>2</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sup>+</sup>, які утворюються в процесі дихання рослин. У корені із ґрунту надходять поживні речовини у вигляді іонів. Рослини поглинають поживні речовини вибірково.

У ґрунтах спостерігається і *мікотрофний тип живлення рослин*, у якому беруть участь гриби, що живуть на коренях деяких культур. У цьому випадку гриб постачає рослині елементи мінерального живлення, а рослина постачає грибам продукти її виділення (органічні кислоти тощо).

Деякі рослини одержують поживні речовини за рахунок мікроорганізмів (*бактеріальний тип живлення*), які живуть на коренях бобових культур. Мікроорганізми зв'язують атмосферний Азот (Нітроген) і цим поліпшують азотне живлення рослин.

### **3.6.5. Азот у ґрунті та шляхи регулювання азотного режиму**

Сукупність усіх процесів надходження, трансформації та використання елементів живлення рослин, що забезпечує наявність в ґрунті певного кількісного та якісного їх стану, формує поживний режим ґрунту в цілому і кожного елемента окремо.

*Азот (Нітроген) – важливий біогенний елемент, необхідний рослинам. Він знаходиться в ґрунті, переважно в фо-*

*рмі органічних сполук, які походять з рослинних і тваринних решток. Накопичення Азоту в ґрунті можливе тільки в органічній формі. Тому вміст Нітрогену в ґрунті залежить від вмісту органічної речовини і, перш за все, гумусу. Отже, чим більше гумусу міститься в ґрунті, тим більше в ньому буде й Азоту (табл. 17).*

Таблиця 17

**Загальний запас гумусу та Нітрогену (т/га)  
в різних ґрунтах (за І. В. Тюрінім)**

Ґрунт	Гумус		Нітроген	
	0-20 см	0-100 см	0-20 см	0-100 см
Дерново-підзолистий	53	99	3,2	6,6
Сірий лісовий	109	215	6,0	12,0
Чорнозем:				
вилугуваний	192	549	9,4	26,5
потужний	224	709	11,3	35,8
звичайний	137	426	7,0	24,0
Темно-каштановий	99	229	5,6	-

В атмосфері Азоту знаходиться майже 79%. Загальні запаси його в земній корі, за даними В.І. Вернадського, складають 0,023 вагових процента, у дерново-підзолистих ґрунтах – 0,05-0,2%, у чорноземах – 0,3-0,5%. Майже 99% Нітрогену знаходиться в органічній формі, а в мінеральній – 1,0%. Основним джерелом надходження Азоту в ґрунт є атмосфера.

З опадами звичайно надходить невелика кількість Азоту у вигляді оксидів NO і NO<sub>2</sub>. Оксиди Азоту утворюються при електричних розрядах у високих шарах атмосфери. Аміак поглинається також водою, туманом, росою й інесем із повітря, куди він надходить з продуктами згорання палива та під час лісових і степових пожеж. З атмосферними опадами за рік надходить у ґрунт дуже мала кількість Азоту (від 3 до 17 кг/га). При такій кількості Нітрогену не можна одержати високий урожай сільськогосподарських культур. Крім того, кількість Азоту, що надходить з опадами, змінюється в залежності від різних умов. Недалеко від великих міст і заводів, звичайно, підвищується кількість аміаку, а в деяких субтропіках і тропіках – оксидів Азоту.



Кудрін наводить дані з кількості Нітрогену, який надходить з опадами в кг на 1 га за рік: у Німеччині – 15,7 кг/га, в тому числі аміачного – 77%, нітратного – 23%; в Англії – 4,3 кг/га, в т.ч. аміачного – 70%, нітратного – 30%; у Середній Азії – 4,5 кг/га, з них аміачного – 68%, нітратного – 32%.

**Біологічна фіксація азоту (Нітрогену).** Велике значення в створенні азотного фонду в ґрунті має діяльність мікроорганізмів – азотофіксаторів, які належать до двох груп:

- 1) вільноживучі в ґрунті (рис.10-А);
- 2) симбіотичні, які живуть на коренях деяких вищих рослин, переважно з родини бобових (рис.10-Б).

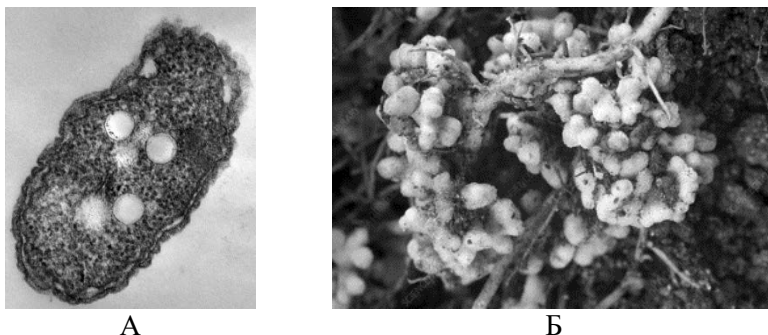


Рис. 10. Вільноживучі та симбіотичні азотофіксатори:

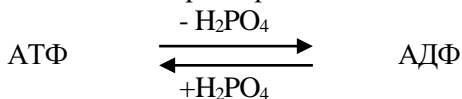
*А – клітина Azotobacter vinelandii;*

*Б – бульбочкові бактерії на коренях гороху.*

Значення цієї групи мікроорганізмів для фіксації Азоту дуже велике. Описано десь біля 1300 видів бобових рослин, і більшість з них фіксують Азот. Початковий процес зараження коренів бобових рослин і утворення бульбочок характеризується тим, що бактерії групуються навколо кореневих волосків і виділяють ростові гормони типу ацетилену. У відповідь на це кінчики кореневих волосків починають завиватися. Потім бактерії впроваджуються в кореневі волоски, а рослина утворює інфекційну нитку. Бактерії розмножуються і через інфекційну нитку проникають у середину клітини кори кореня. Ці клітини й утворюють кореневі бульбочки. Вони сполучаються з рослинами за допомогою судин.

Бульбочки утворюються в усіх випадках, але ефективність бактеріальних штамів у різних випадках різко відмінна. В одних спостерігається добра фіксація Нітрогену, а в інших – слабка. При складанні азотного балансу Д. М. Прянишников виходив із того, що кількість Азоту в розрахунку на 1 га за вегетацію в конюшини складає 250-280 кг, а в люцерни – 300 кг, думаючи при цьому, що дві третини цього азоту рослини взяли із повітря, а решту із ґрунту. Для розрахунку виносу Нітрогену з надземною частиною урожаю звичайно береться для конюшини 150-160 кг/га Азоту за рік, люпину – 160, люцерни – 200.

Для фіксації Азоту необхідна велика енергія для розриву зв'язків у молекулі азоту. Ця енергія складає 225,2 ккал/моль (942 кДж). Тому при синтезі аміаку ( $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$ ) потрібно створити умови коли температура складає 500°C, а тиск – 350 атм (35,5 МПа) (витрачається 5 т вугілля на 1 т аміаку). У бульбочкових бактерій азотофіксація пов'язана з окисно-відновними процесами, в яких бере участь гемоглобін клітин, що утворюється тільки бульбочковими бактеріями. У синьо-зелених водоростей фіксація Азоту пов'язана з перетворенням світлової енергії:



Кінцевим продуктом зв'язування азоту азотофіксаторами є аміак.

Аміак токсичний для рослинних клітин, тому він не повинен накопичуватися в них у великих кількостях. Аміак перетворюється в амінокислоти, вступаючи в реакцію з  $\alpha$ -кетоглутаровою кислотою, в результаті чого утворюється глутамінова кислота, а при подальшій взаємодії з аміаком – глутамін з глутамінової кислоти. Інші амінокислоти синтезуються в ході процесу переамінування, при якому глутамінова кислота взаємодіє з іншими кетокислотами – попередниками нових амінокислот, переносючи на них свою аміногрупу і перетворюючись знову в  $\alpha$ -кетоглутарову кислоту. Аспарагінова кислота – один з перших продуктів реакції переамінування. У цьому випадку рецептором аміногрупи є щавелевоцтова кислота. При додатковому зв'язуванні аміаку аскорбіновою кислотою утворюється аспарагінамід

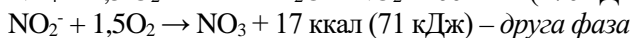
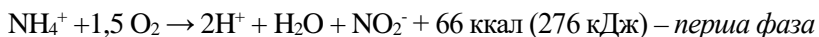
аспарагінової кислоти. Переважно в формі цих чотирьох компонентів – глутамінової кислоти, глутаміну, аспарагінової кислоти й аспарагіну – і транспортується фіксований Нітроген від кореня по всій рослині.

Отже, загальний кругообіг Азоту (Нітрогену) в природі являє собою зворотний перехід його вільної газоподібної форми з атмосфери в фіксовану форму в ґрунті або біологічній системі (рис. 11).

Азотфіксація найкраще проходить за таких умов:

- а) рівень зволоження – 60-70% від повної вологоємності ґрунту;
- б) оптимальна температура – +25-27°C;
- в) вільне надходження Кисню;
- г) реакція середовища – слабокисла або близька до нейтральної;
- д) присутність Кальцію.

Органічний Азот перетворюється у ґрунті в мінеральні форми. Спочатку білкові форми Азоту перетворюються в амінокислоти, які дають аміак. Потім останній окиснюється й утворюються азотиста і азотна кислоти.



Процес нітрифікації іде в декілька етапів: а) аміак – гідроксиламін; б) гідроксиламін – гіпонітрити; в) гіпонітрити – нітри-ти; г) нітри-ти – нітрати.

Дуже важливим негативним процесом, який відбувається в ґрунті, є денітрифікація. Це процес втрат Нітрогену із ґрунту у вигляді вільного Азоту або аміаку. Він відбувається в ґрунті при невисокому вмісті повітря, дуже уповільненій або зовсім відсутній аерації. Процес пов'язаний з активністю денітрифікуючих мікроорганізмів, які використовують для дихання Кисень (Оксиген) сполук, які його містять, у тому числі нітратів і нітритів.

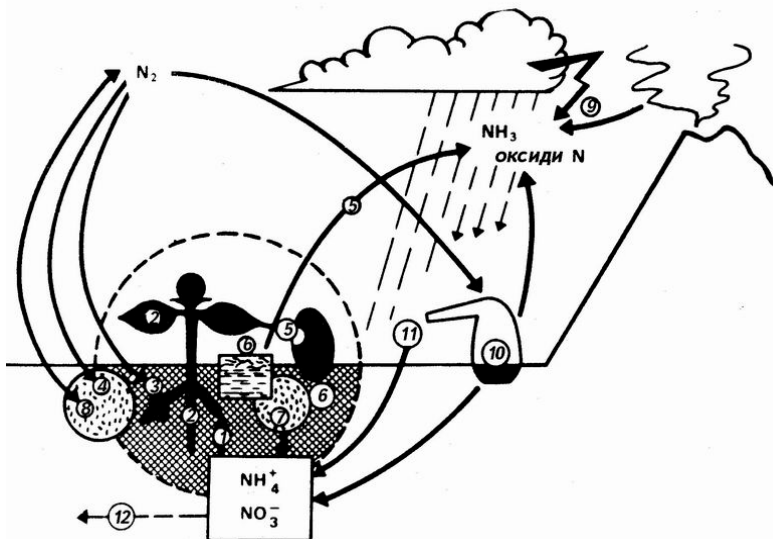


Рис. 11. Схема кругообігу азоту:

1 – поглинання  $NO_3^-$  і  $NH_4^+$  мікроорганізмами та вищими рослинами; 2 – асиміляція азоту та синтез білка; 3 - зв'язування атмосферного азоту бульбочковими бактеріями; 4 - зв'язування атмосферного азоту вільноживучими азотофіксуючими бактеріями та синьо-зеленими водоростями; 5 –забезпечення азотом інших організмів екосистеми через ланцюги живлення; 6 – виділення азотних сполук (амінокислот, сечовини) і розкладання органічної речовини; 7 – мінералізація азоту (амоніфікація, утворення нітритів та нітратів); 8 – денітрифікація (вивільнення  $N_2$ ); 9 – втрати  $NH_3$  екосистемою, надходження в атмосферу азотних складових у результаті фітоокиснення, вулканічної діяльності та грозових розрядів; 10 - зв'язування азоту та вивільнення азотних сполук промисловістю (азотні добрива, газоподібні відходи); 11 – надходження азотних сполук в екосистему із атмосфери з опадами; 12 – втрата азоту екосистемою внаслідок вимивання.

Основні прийоми регулювання азотного режиму ґрунту полягають ось у чому:

- збільшення вмісту органічної речовини в ґрунті шляхом

- внесення органічних добрив, широкого використання рослинних решток (стерня, солома і т. ін.), вирощування сидеральних культур і збільшення у структурі посівних площ частки багаторічних трав;
- збільшення вмісту в ґрунті мінеральних форм Азоту (Нітрогену), доступних рослинам шляхом внесення мінеральних добрив; створення умов для фіксації атмосферного Азоту;
  - підвищення ефективності використання Азоту з ґрунту шляхом регулювання реакції ґрунтового розчину внесенням кальцієвмісних сполук, удосконалення способів внесення азотних добрив і структури посівних площ, поліпшення агрофізичних властивостей ґрунту тощо.

### **3.6.6. Фосфор у ґрунті та шляхи регулювання фосфатного режиму**

Фосфатний режим ґрунту залежить перш за все від материнської породи, ступеня її вивітреності і характеру ґрунтоутворюючого процесу. Одна з найбільш загальних закономірностей залежності фосфатного режиму від ґрунтоутворюючого процесу – тісний зв'язок валового Фосфору та його профільного розподілу з вмістом органічної речовини.

Валові запаси Фосфору в орному шарі відносно високі. Вони змінюються в ґрунтах різних генетичних типів менш суттєво порівняно із запасами Азоту. При цьому в гумусовому горизонті кількість його завжди більша, ніж у нижчележачих і материнській породі, внаслідок процесів біологічного переносу. Загальний вміст Фосфору в ґрунтах збільшується відповідно до збільшення рівня родючості (табл. 18).

*Таблиця 18*

***Валові запаси Фосфору в орному шарі ґрунтів різних типів  
(за Клечковським і Петербурзьким)***

Ґрунт	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
	%	т/га
Дерново-підзолистий піщаний	0,03-0,06	0,9-1,8
Дерново-підзолистий суглинковий	0,04-0,12	1,2-3,6
Чорнозем	0,1-0,3	3-9

Аналогічно змінюється і вміст рухомого Фосфору в ґрунті. Це Фосфор, який вилучається з ґрунту різними витяжками: 0,2 н розчином HCl (метод Кірсанова), 0,5 н розчином  $\text{NH}_3\text{COOH}$  (метод Чирікова) та інші.

Фосфор у ґрунті знаходиться у двох формах: органічній та мінеральній. Органічні фосфати (нуклеїнові кислоти, нуклеопротейди, фосфатиди, цукрофосфати та ін.), частка яких складає 10-50% від загального вмісту Фосфору, є недоступними для рослин і беруть участь у їх живленні тільки після гідролізу і відокремлення Фосфору. Мінеральні фосфати у ґрунті складаються з багатьох солей, які утворилися з ортофосфорної кислоти і є різними за хімічним складом і ступенем доступності для рослин. Мінеральний Фосфор в ґрунтах представлений в основному малорухливими формами. Може входити до складу мінералів: апатиту ( $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$ ), гідроксилапатиту ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ ), фосфориту ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) і віваніту ( $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$ ).

Кислі ґрунти містять хімічно активні форми Заліза та Алюмінію, тому Фосфор у них, в основному, знаходиться в формі фосфатів Заліза й Алюмінію ( $\text{FePO}_4$ ,  $\text{AlPO}_4$ ,  $\text{Fe}_2(\text{OH})_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{PO}_4$  та ін.), або зв'язаний півтораоксидами у вигляді адсорбційних сполук, здатних до часткового обміну фосфатіонами, що входять до їх складу.

У нейтральних і слаболужних ґрунтах переважають фосфати кальцію. У ґрунтах, багатих Кальцієм, фосфати Кальцію постійно переходять в найбільш стійку форму гідроксилапатиту ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ ), більш основну ніж трикальційфосфат ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ).

У ґрунті можуть знаходитися більш кислі форми фосфорнокислого Кальцію – одно- та двозаміщені ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  і  $\text{CaHPO}_4$ ), які більш доступні рослинам. У деяких ґрунтах зустрічаються фосфати Магнію або одновалентних металів.

Сполуки Фосфору сприятливо впливають на фізичні і біологічні властивості ґрунту. Вони сприяють перебігу в ґрунті колоїдно-хімічних і біологічних процесів, підтриманню водостійкої структури. Структурні агрегати, збагачені іонами Фосфору, містять колоїди, які стійкі проти набухання і звертання під впливом зовнішньої дії.

Для багатьох мікроорганізмів, а також вільноживучих азотофіксаторів, характерний високий вміст в їх організмах Фосфору. Фосфорні добрива стимулюють розвиток бульбочкових бактерій, що живуть у симбіозі з бобовими рослинами. Багато мікроорганізмів у результаті своєї життєдіяльності виділяють ферменти, під впливом яких розкладаються фосфорорганічні речовини, в першу чергу фітин, лецитин, нуклеїнові кислоти. Азотобактер та нітробактер розчиняють важкорозчинні мінеральні форми фосфатів.

Головним способом поліпшення фосфатного режиму ґрунтів є внесення мінеральних і органічних добрив. Не менш важливе значення має і підвищення доступності частини ґрунтових фосфатів для рослин. При вапнуванні кислих ґрунтів важкорозчинні фосфати Заліза й Алюмінію переходять у легкозасвоювані форми. На багатьох ґрунтах вапнякові добрива часто діють як фосфорні добрива. На лужних ґрунтах, у яких Фосфор знаходиться в основному в формі трикальційфосфату, ефективно застосування мінеральних добрив, що підкислюють ґрунтовий розчин.

При внесенні в ґрунт органічних добрив стимулюється активність ґрунтових мікроорганізмів і виділяється більше вуглекислого газу. Під його дією, а також під впливом продуктів життєдіяльності мікроорганізмів розчиняються мінеральні фосфати ґрунту.

Обробіток ґрунту сприяє більш активній мобілізації фосфатів, а деякі рослини з глибокою кореневою системою можуть розчиняти важкорозчинні фосфати. До культур, які здатні засвоювати Фосфор з малорозчинних речовин (фосфоритне борошно, фосфати Заліза й Алюмінію), належать люпин, горох, буркун і конюшина другого року використання, а з не бобових – гречка та гірчиця. Останні хоч і меншою мірою ніж люпин, але також здатні використовувати Фосфор з важкорозчинних фосфатів ґрунту. Проте цієї властивості не мають головні польові культури – зернові, картопля, цукровий буряк, льон тощо. У зв'язку з цим рекомендується робити мішані посіви або висівати після люпину, гороху – зернові культури, коренеплоди, картоплю.

### 3.6.7. Калій у ґрунті та шляхи регулювання калійного режиму

Калій важливий елемент для оптимального росту рослин, а отже, і для отримання високих урожаїв і підтримання високого рівня родючості ґрунту. Аналогічно Фосфору, розрахунки вмісту Калію роблять у перерахунку на оксид  $K_2O$ .

Вміст і форми Калію в ґрунті визначаються гранулометричним складом, природою глинистих мінералів і ступенем їх вивітреності. В ґрунтах важкого гранулометричного складу валовий вміст Калію може досягати 2% і більше (табл. 19). Значно менше його в ґрунтах легкого гранулометричного складу. Основна частина Калію в ґрунті входить до складу кристалічної решітки первинних і вторинних мінералів, тобто знаходиться у малодоступній для рослин формі. Деякі з цих мінералів (біотит, мусковіт) віддають Калій досить легко і є джерелом мобілізації доступного калію. Ґрунтовий Калій поділяють на необмінний, обмінний та Калій ґрунтового розчину. Доля обмінного Калію складає не більше 5% його загальних запасів, а в ґрунтовому розчині міститься не більше 1% від усього обмінного Калію. Усі форми Калію в ґрунтах знаходяться у формі рівноваги і зміна кількості будь-якої форми впливає на всі інші. В умовах нейтральної реакції середовища і збагаченості ґрунту органічною речовиною Калій більш інтенсивно закріплюється в необмінній формі. При різкому зниженні вмісту обмінного Калію в обмінний стан переходить частина необмінного Калію. З іншого боку, Калій добрив може необмінно закріплюватися в ґрунті, тобто проходить його фіксація. Перебіг названих процесів зумовлюється вологозабезпеченістю ґрунту. Так, у вологі роки в ґрунті міститься більше доступного Калію, ніж у посушливі, тому що в сухому ґрунті посилюється фіксація Калію.

Таблиця 19

**Валові запаси Калію в орному шарі різних ґрунтів**

Ґрунт	$K_2O$	
	%	т/га
Дерново-підзолистий піщаний	0,5 – 0,7	15-21
Дерново-підзолистий суглинковий	1,5 – 2,5	45 – 75
Чорнозем	2,0 – 2,5	60 – 75



У регулюванні калійного режиму ґрунту першочергове значення мають зміни вмісту доступного для рослин Калію і швидкість переведення загальних запасів Калію в доступну форму. Підвищення вмісту доступного для рослин Калію здійснюється внесенням добрив з урахуванням особливостей їх впливу на ґрунт.

Більшість ґрунтів важкого гранулометричного складу містять достатню кількість Калію. Однак рослини не завжди можуть використати ці запаси через їх низьку доступність. Тому на таких ґрунтах також необхідно вносити калійні добрива.

Калій у ґрунті утримується ґрунтово-поглинальним комплексом аналогічно іншим катіонам, тобто відповідно своїй валентності та гідратації і може еквівалентно обмінюватися на інші катіони. Вапнування та гіпсування вивільняють відповідну кількість Калію і завдяки цьому сприяють мобілізації важкодоступного ґрунтового Калію. При нестачі в ґрунті Калію його засвоюваність рослинами зменшується, тому що іони Калію в ґрунтово-поглинальному комплексі не можуть заміщуватися менш рухомими катіонами  $H^+$  і  $Al^{3+}$ . Аналогічно іншим катіонам закріплення Калію в ґрунті зростає в умовах низького ступеня насиченості ґрунту основами.

Підвищення біологічної активності та родючості ґрунту при використанні калійних добрив незначне, однак воно досить помітне, якщо калійні добрива вносять одночасно з органічними добривами і в ґрунті міститься достатня кількість Фосфору та Кальцію. Оскільки гній підлюговує реакцію ґрунтового розчину, то цим він сприяє підвищенню поглинання рослинами Калію з ґрунту, а також Азоту, Фосфору, Магнію. Оптимальний водний режим ґрунту та відсутність бур'янів – одні з умов успішного застосування калійних добрив.

### **3.6.8. Динаміка катіонів Кальцію, Магнію і Натрію в ґрунті**

Значення катіонів у житті рослин детально досліджено К. К. Гедройцем. Ці катіони в ґрунті можуть знаходитись: а) у поглинутому стані; б) в дисоційованому рідкому стані; в) в органічній речовині рослинних решток; г) у складі мінералів. У розчиненому стані вони легко можуть бути вимиті з ґрунту, особливо одновалентні катіони. Катіони поглинаються рослинами на

будь-якій фазі їх розвитку. Культури ліпше ростуть, якщо в ґрунтовому розчині підтримується певне співвідношення між окремими катіонами. Крім того, кожен катіон по-своєму впливає на фізико-хімічні властивості ґрунту.

**Кальцій.** Кількість Кальцію в листках досягає 2-3% від маси сухої речовини, у сіні 1-3%, у коренях злакових культур 1 – 2,5%. Середній виніс Кальцію з урожаєм коливається від 30 до 120 кг на гектар. Менше його виносять хлібні злаки і більше бобові й буряки. Частина Кальцію повертається з гноєм, а в нечорноземній зоні його необхідно вносити з вапном. Кальцій разом з Калієм регулює потребу рослинного організму у воді та його окисно-відновну систему. Він нейтралізує щавелеву кислоту, яка утворюється у листках рослин. Згубний вплив Водню й Алюмінію при наявності в ґрунті оптимальних кількостей Кальцію нейтралізується.

**Магній.** У ґрунтах він зустрічається у вигляді сульфатів, а також у поглинутому стані. У невеликих кількостях Магній міститься в органічній речовині ґрунту і в рослинних рештках. Магній входить до складу хлорофілу і бере участь у процесі фотосинтезу. Він концентрується у насінні, особливо в зародках. Потреба польових культур у Магнії неоднакова. Одні види рослин реагують на внесення Магнію, а інші не реагують.

**Натрій.** У ґрунті Натрій входить до складу альбїду, поглинутих основ і буває в формі водорозчинних речовин. Особливо потребують Натрію буряки. Вміст його в каштанових ґрунтах становить 0,3 мг-екв на 100 г ґрунту, а в південних та звичайних чорноземах – до 1 мг-екв на 100 г ґрунту. Позитивний вплив його на врожай польових культур пояснюється побічно: він витісняє Калій з ґрунтового-поглинального комплексу, сприяючи тим активнішому його використанню рослинами та підвищенню врожаю.

Основні шляхи регулювання поживного режиму в землеробстві:

- мобілізація поживних речовин шляхом обробітку ґрунту;
- вапнування кислих та гіпсування солонцевих ґрунтів;
- боротьба з бур'янами;
- впровадження в господарствах раціональних сівозмін;

- боротьба з втратами елементів живлення на осушених і зрошуваних землях.

### **Контрольні питання**

1. Перелічіть представників мікрофауни, що населяють ґрунт.
2. Дайте характеристику мікрофауни і мікрофлори ґрунту
3. Які особливості гетеротрофних та автотрофних бактерій?
4. Що таке метабіоз, паразитизм?
5. Що таке біологічна активність ґрунту?
6. Назвіть джерела Азоту в ґрунті.
7. Як змінюється вміст Азоту в різних ґрунтах?
8. Розкрийте значення та механізм біологічної фіксації Азоту.
9. Перелічіть заходи регулювання азотного режиму ґрунту.
10. Назвіть джерела та сполуки Фосфору в ґрунті.
11. Перерахуйте прийоми регулювання фосфатного режиму ґрунту.
12. Схарактеризуйте форми Калію в ґрунті.
13. Як змінюється вміст Калію в ґрунтах різних типів?
14. Перерахуйте прийоми регулювання калійного режиму.
15. Схарактеризуйте типи живлення рослин.
16. Обґрунтуйте роль і значення катіонного живлення рослин.

## 4. РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТУ

Основою сільськогосподарського виробництва є ґрунт (земля). Поліпшення його культурного стану – одна із найважливіших умов підвищення родючості. Виконання головного завдання землеробства передбачає максимальне і раціональне використання ґрунтів як головного засобу виробництва в сільському господарстві, забезпечення росту врожайності сільськогосподарських культур.

Не дивно, що в стародавні часи родючість ґрунту, як сонце, вогонь і воду, люди обожнювали: у стародавньому Єгипті богинею родючості ґрунту була Ізида, а у стародавньому Римі – Прозерпіна. У ті часи письменники, філософи, наприклад, *Аристотель*, розглядали неорганічну природу як умову існування рослин і поділяли ґрунти на родючі та неродючі. *Бернард Паліссі* (1563 р.) пояснював ріст рослин дією солей, що містяться у землі: «Сіль є основа життя і росту всіх посівів».

*М. В. Ломоносов* (1763 р.) вважав, що рослини отримують живлення із повітря. У першій половині ХІХ ст. *Теер*, який узагальнивши погляди своїх попередників (*Деві*, *Берцелюса*), зробив висновок, що рослини живляться гумусом. Він вважав, що родючість повністю залежить від гумусу, оскільки, крім води, він є єдиною речовиною ґрунту, яка здатна служити живленням рослин.

Пізніше *Шпренгель* висловив думку про те, що для живлення рослин необхідні не тільки «перегнійні» кислоти, але і ще, принаймні, 12 неорганічних елементів: Сірка (Сульфур), Фосфор, Калій, Кремній (Силіцій) та інші.

У 40-ві роки ХІХ ст. століття німецький учений *Ю. Лібіх* висунув теорію мінерального живлення рослин, згідно з якою родючість залежить від кількості мінеральних поживних речовин, які містяться у ґрунті в доступному для рослин стані.

*В. Р. Вільямс* звернув увагу, що родючість ґрунту залежить не тільки від кількості мінеральних поживних речовин, але й від запасів вологи. Під родючістю він розумів здатність ґрунту забезпечити життєві потреби рослин у воді та живленні. Він перший поставив питання не про відновлення, а про підвищення

родючості ґрунту, запропонував травопільні сівозміни й обожнював ґрунтову структуру.

Для отримання високих і стійких врожаїв необхідно вкладання праці і коштів у землю, удобрення, правильне і своєчасне застосування технологічних процесів. У зв'язку з останнім при швидкому розвитку виробничої сили всі старі машини замінюються на більш вигідні. Земля, навпаки, постійно поліпшується, якщо правильно поводитися з нею.

**Отже, під родючістю ґрунту розуміють здатність ґрунту забезпечувати рослини всіма необхідними умовами росту і розвитку (а не тільки водою й елементами живлення).**

#### **4.1. Фактори та закономірності природної родючості ґрунтів**

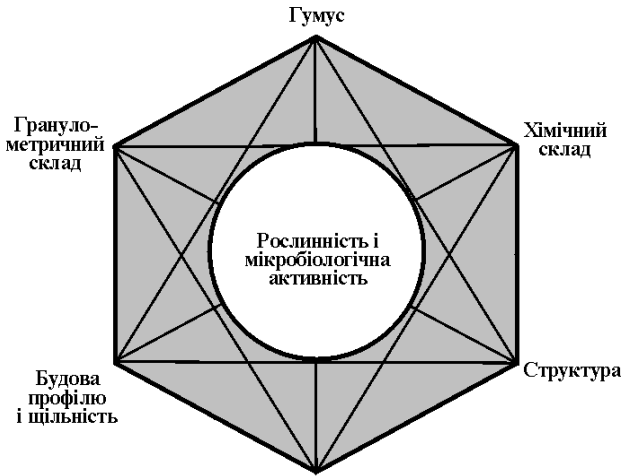
Питання про родючість ґрунтів має давню історію. Люди ще на зорі землеробства помітили, що врожай залежить від властивостей ґрунтів. Видатний діяч стародавнього Риму Колумелла ще тоді доказував у досить образній формі, що земля – *«це діва завжди юна і красива, завжди свіжа і молода, завжди здатна бути родючою, якщо тільки зумієш плекати її молодість, зберігати і підтримувати її ніжне грайливе життя»*.

**Сучасне природознавство розглядає родючість ґрунту як функцію ґрунотворного процесу, визначаючи її як здатність ґрунту до одночасного забезпечення рослин умовами їх нормального росту і розвитку.**

У зв'язку з тим, що ознакою родючості ґрунту є величина врожаю, яка зумовлюється сукупністю властивостей, здатних забезпечувати рослини всім необхідним, *О. М. Грінченко* (1984 р.) зобразив їх у вигляді шестикутної призми, у кожному з кутів якої стоїть один із факторів, усі вони зв'язані між собою: гумус; гранулометричний склад; будова профілю і щільність; хімічний склад; структура; водно-повітряний і температурний режими; рослинність і мікробіологічна активність (рис. 12).

Тільки врахування всієї сукупності факторів дає можливість підвищувати врожай. Дія лише на один з факторів родючості на певному етапі призводить до зниження приросту врожаю. Дослід, проведений у Німеччині (дослід Вольні), враховував вплив

на рослини трьох факторів – світла, води і живлення, одночасне збільшення яких забезпечувало стабільну прибавку врожаю.



Водно-повітряний  
та температурний режими

*Рис. 12. Природні фактори родючості  
(за О. М. Грінченком)*

З цих прикладів впливає надзвичайно важливий висновок, сформульований В. Р. Вільямсом: з метою підвищення родючості ґрунту необхідно одночасно подіяти на всі фактори життя і росту рослин. Все це характеризує ґрунт з природно-наукових позицій. Водночас при характеристиці родючості ґрунту необхідно врахувати і соціально-економічний аспект. Як тільки ґрунт починають використовувати для вирощування культурних рослин, здатність його забезпечувати рослини всім необхідним визначається не тільки природними властивостями, але й характером впливу на нього людини. Останній визначається соціально-економічними умовами суспільства.

Проблему родючості не можна розглядати з відривом від обґрунтування теорії земельної ренти, яка зобов'язана своїм по-

ходженням суспільству, а не ґрунту. Рівень родючості тісно зв'язаний з питанням про те, кому належить земля. Родючість розглядається як здатність ґрунту давати врожай.

#### **4.2. Категорії ґрунтової родючості, їх суть і коротка характеристика**

У підручниках і наукових працях із землеробства, ґрунтознавства та агрохімії зустрічаємо різні формулювання понять категорій, видів, груп ґрунтової родючості: природна, первинна, актуальна, потенційна, штучна, культурна, відносна, порівнювальна, дійсна, абсолютна, ефективна, економічна. Деякі поняття ототожнюються: родючість природна або потенційна; відносна або порівняльна; ефективна або економічна.

У зв'язку з тим, що родючість ґрунту формується під дією природних і соціально-економічних факторів, вона належить до ряду природних і економічних категорій. О. М. Грінченко (1984 р.) вважав за необхідне виділити і використовувати у господарській діяльності три категорії ґрунтової родючості: природну, ефективну й економічну.

*Природна родючість ґрунту.* Ґрунт як природно-історичне тіло володіє визначеною родючістю, яка називається «природною родючістю». Вона є результатом розвитку ґрунтотворних процесів, які призвели до утворення даного ґрунту як природного тіла, до якого не доторкалась рука людини. Вона притаманна лише цілинним землям. Характеризується комплексом взаємозв'язаних механічних, фізичних, хімічних, фізико-хімічних і біологічних властивостей, які зумовлюють життєдіяльність рослинних організмів. Водночас рослинність і мікроорганізми також діють на зміну і напрямок ґрунтових процесів, а отже, і на родючість ґрунту.

*Ефективна родючість ґрунту.* Як тільки людина починає використовувати ґрунт (землю) з господарською метою, він стає засобом виробництва. Людина господарською діяльністю (обробітком та іншими технологічними процесами) впливає на розвиток і зміну родючості ґрунту; його родючість проявляється у величині врожаю культурних рослин. Цю категорію виділяють як ефективну родючість. Її рівень залежить не тільки від природної родючості ґрунту, але й більше від процесу і характеру

сільськогосподарського використання та культури землеробства. Застосування засобів обробітку, добрив, меліоративних заходів проявляється і на напрямку ґрунтоутворення: змінюється природна родючість, створюється її штучний ступінь. Але це не нова категорія родючості, а та сама природна родючість, яка за допомогою штучних заходів набуває більш високого ступеня розвитку.

*Рівень ефективної родючості ґрунту*, що встановлюється за рівнем урожаю вирощуваних сільськогосподарських культур залежить не тільки від ґрунту, але й від метеорологічних умов, біологічних особливостей рослин, дії людини. Взаємозв'язок факторів, що визначають урожайність вирощуваних рослин, а, відповідно, і рівень ефективної родючості ґрунту, показаний на рис. 13.

Рівень ефективної родючості визначають:

- поживний, водно-повітряний, тепловий режими ґрунту, вміст фізіологічно-активних речовин, реакція ґрунтового розчину, наявність у ґрунті фітотоксичних сполук тощо;
- метеорологічні умови вегетації рослин (сонячна радіація, кількість та розподіл атмосферних опадів, температурні умови, відносна вологість повітря, вміст у ньому CO<sub>2</sub>, тривалість вегетаційного періоду);
- рослина: сорт, репродукція, якість насіннєвого матеріалу тощо;
- фітосанітарні умови: бур'яни, шкідники та хвороби культурних рослин;
- антропогенна дія: обробіток ґрунту, технологія вирощування рослин, сівозміни, система добрив, меліоративні заходи, заходи захисту рослин тощо.

Комплекс взаємопов'язаних і взаємозумовлених властивостей, що визначає природну родючість, має певні відмінності на різних типах ґрунтів. Конституційні властивості ґрунтів (хімічний, мінералогічний, гранулометричний склад, щільність твердої фази і ін.) практично не піддаються суттєвим змінам у порівняно короткі проміжки часу, тоді як динамічно-функціональні (фізико-хімічні, агрохімічні, біологічні і ін.) досить мінливі під впливом антропогенного фактору. У зв'язку з цим вони здійснюють неоднаковий вплив на формування урожаю на різних



грунтах. Наприклад, агрохімічний фактор у Поліссі за умови оптимального поєднання з іншими блоками системи землеробства забезпечує 50-70% приросту врожаїв (Г. А. Мазур, 2002 р.). Тому рівень ефективної родючості може бути практично однаковим на різних ґрунтах за різного рівня потенційної родючості.

Зіставлення даних про спрямованість та інтенсивність зміни показників природної та ефективної родючості дозволяє прогнозувати характер розвитку ґрунтової родючості й визначати необхідні заходи антропогенної дії.

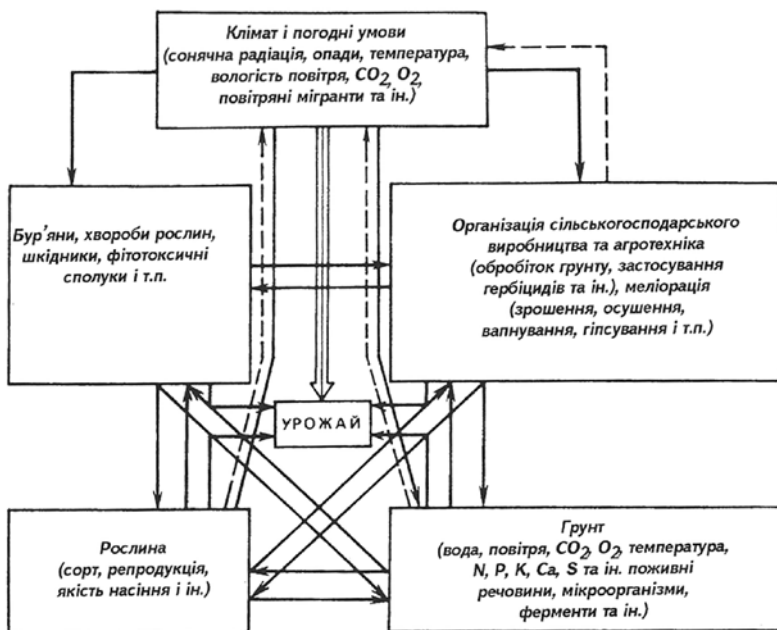


Рис. 13. Взаємозв'язок урожаю та факторів, що його визначають (В. Д. Муха)

*Економічна родючість ґрунту.* У підручниках і працях деяких учених економічна родючість як категорія не виділяється, вона ототожнюється з поняттям «ефективна родючість». Однак «еко-

номічну родючість» доцільно виділяти як окрему категорію ґрунтової родючості, адже в суспільному виробництві ґрунт виступає предметом і знаряддям праці. У процесі застосування праці, знарядь і знань, при правильному ставленні до нього ґрунт поліпшується; при цьому змінюється природна і підвищується ефективна родючість, перетворюючись в економічну, яка реалізується у визначеній кількості споживчих вартостей.

**Економічна родючість – це зумовлена соціально-економічними факторами здатність землеробства використовувати і підвищувати природну родючість ґрунту.**

З розвитком науково-технічного прогресу і виробничих сил суспільства створюються умови правильного використання земельних ресурсів і підвищення природної та економічної родючості ґрунту.

#### ***4.3. Підвищення родючості та окультурювання ґрунтів***

Родючість ґрунту є такою властивістю, яка здатна до відтворення і в природних умовах, і при сільськогосподарському використанні ґрунту. *Відтворення родючості* може бути розширеним, простим і неповним. *Розширене* відтворення родючості – це поліпшення сукупності властивостей ґрунту, які впливають на його родючість. *Просте* – це відсутність помітних змін сукупності властивостей ґрунту, які впливають на його родючість. *Неповне* – це погіршення властивостей ґрунту, які впливають на його родючість. Це широко розповсюджене як у світі, так і у нашій країні, явище має негативні наслідки в природному й соціально-економічному відношеннях. Зниження родючості ґрунту відбувається за рахунок трьох основних процесів. Перший – антропогенна деградація (ерозія, викликана людиною, вторинне засолення, вторинне заболочення). Другий – виснаження ґрунту (зменшення запасів гумусу, поживних речовин тощо). Третій – стомлення ґрунту (накопичення в ньому різних токсичних речовин, викликаних недотриманням науково обґрунтованого чергування культур, надлишком хімічних засобів тощо).

Для підвищення ефективної та природної родючості треба впроваджувати науково обґрунтовані системи землеробства, що може забезпечити окультурювання ґрунтів.

**Окультурювання ґрунтів – систематичне використання заходів щодо підвищення їх родючості з урахуванням генетичних властивостей, вимог сільськогосподарських культур, тобто формування ґрунтів із більш високим рівнем ефективно й потенційної родючості.**

Проте не можна забувати, що окультурювання ґрунту має бути науково обґрунтованим і здійснюватись з використанням екологічного підходу. Ще В. В. Докучаєв (1883 р.), порівнюючи ґрунт з породистим конем, зазначав, що нещадна експлуатація та голодний раціон обов'язково викличуть виснаження навіть найсильнішої тварини, тобто найродючішого ґрунту.

**Окультурювання ґрунту – це екологічна реорганізація всіх компонентів біогеоценозу, що призводить до антропогенної зміни ґрунтових режимів під потреби однієї рослини.**

Таке шгучне обмеження біорізноманітності в агроценозі робить подібні екосистеми нестійкими. Саме тому едафотопи агроценозів потребують прискіпливої уваги та бережливого ставлення.

#### ***4.4. Родючість різних типів ґрунтів і прийоми її розширеного відтворення***

Родючість ґрунту зумовлюється, як зазначалося вище, дією *природних і антропогенних факторів*. За умов низької культури землеробства родючість ґрунту визначається, в основному, природними факторами, складом і властивостями самого ґрунту. Із ростом культури землеробства рівень ґрунтової родючості стає все більше залежним від антропогенного фактору. Однак усі фактори родючості зв'язані між собою, і тільки врахування всієї їх сукупності дає можливість підвищувати урожай.

Про рівень родючості основних типів ґрунтів та її зміни під впливом застосовуваних мінеральних добрив (тільки одного фактору антропогенного впливу) свідчать дані вегетаційного дослідю, проведеного А. М. Лебедянцевим (табл. 20). Згідно з його даними, найбільш високою ефективною родючістю, що проявляється в оптимальних умовах зволоженості та температури, володіють чорноземи типові та звичайні. З просуванням на північ (підзолисті ґрунти) та на південь (сіроземи) від них рівень родючості знижується. Застосування мінеральних добрив (NPK)

суттєво збільшило кількість продукції (особливо на низькородючих ґрунтах), однак не змінило закономірності, яка встановлена у випадку без добрив. Відмінності у родючості цих ґрунтів зумовлені, перш за все, їх генетичними особливостями.

Таблиця 20

**Урожайність вівса на різних типах ґрунтів та її зміни при використанні добрив**

Ґрунти	Без добрив		NPK	
	г/посудину	%	г/посудину	%
Підзолисті	7,6	100	51	572
Сірі лісові та чорноземи опідзолені	8,3	109	48	482
Чорноземи типові та звичайні	14,4	189	61	327
Чорноземи південні та каштанові ґрунти	13,7	180	62	352
Сіроземи	11,6	153	54	365

Низький рівень родючості *підзолистих і дерново-підзолистих ґрунтів* зумовлюється впливом підзолистого процесу ґрунтоутворення. Під його впливом формуються ґрунти з кислою реакцією ґрунтового розчину, сильною ненасиченістю основами, низьким вмістом гумусу та поживних речовин з токсичними для рослин концентраціями рухомого Алюмінію та закисного Заліза (Феруму).

*Чорноземи типові та звичайні Лісостепу і Степу* відрізняються найвищим рівнем родючості внаслідок високої гумусованості, близької до нейтральної або нейтральної реакції ґрунтового розчину, високої насиченості основами (особливо обмінним Кальцієм), високої буферності, зернисто-грудкуватої структури і сприятливих агрофізичних властивостей, високого вмісту поживних речовин. Усе це є наслідком дернового (чорноземного, гумусово-акумулятивного) процесу ґрунтоутворення, який набув у цих ґрунтах максимального вираження.

*Сірі лісові ґрунти та чорноземи опідзолені Лісостепу*, у відповідності з їх генетичними особливостями, займають проміжне положення між підзолистими ґрунтами й чорноземами типовими та звичайними. Формуються вони як під впливом дернового, так і підзолистого процесів ґрунтоутворення. Інтенсивність останнього підвищується в сірих лісових ґрунтах.

*Каштанові ґрунти зони сухих степів, бурі напівпустельні ґрунти* володіють невисокою родючістю внаслідок низької гумусованості, а також лужної реакції середовища, засолення й осолонцювання та інших негативних наслідків солонцювого (галогенного) процесу ґрунтоутворення.

*Родючість природних ґрунтів*, що виникла в процесі їх формування, *оцінюється продуктивністю природної рослинності*. Її можна виразити величиною річного приросту біомаси на одиницю площі:

<b>Ґрунти</b>	<b>Приріст біомаси, ц/га</b>
Підзолисті	45-85
Чорноземи	90-137
Каштанові	40-50
Червоноземи та жовтоземи	325- 400

У природних біогеоценозах ґрунт і рослина тісно взаємопов'язані. Ріст і продуктивність рослин залежать від родючості та властивостей ґрунту, а рослини, у великій мірі, визначаючи об'єм і характер біологічного кругообігу речовин, теж сильно впливають на властивості ґрунту. Тому просторова зміна ґрунтових умов завжди супроводжується зміною природного рослинного покриву, а зміна рослинності супроводжується зміною ґрунтів.

У результаті тривалого природного відбору в природних біогеоценозах встановлюється динамічна рівновага, за якої властивості ґрунту екологічно відповідають біологічним властивостям його рослинного покриву, навіть у тому випадку, якщо ґрунт має дуже кислу або лужну реакцію, заболочений, засолений і т. ін. На таких ґрунтах з несприятливими властивостями теж ростуть рослини, біологічні властивості яких відповідають властивостям ґрунту. Отже, всі ґрунти володіють різним рівнем природної родючості, а саме відносною родючості – по відношенню до певної групи або виду рослин. Один і той же ґрунт може бути родючим для одних рослин і низькородючим для інших. Цим і пояснюються наведені вище більші величини річного приросту біомаси на червоноземах і жовтоземах порівняно із, здавалося б, більш

родючими чорноземами. За екологічну відповідність біологічних властивостей ґрунту до його рослинного покриву в першу чергу відповідає вміст гумусу та його тип (І. І. Назаренко, М. А. Бербець, В. Р. Черлінка, Б. П. Том'юк, 2004 р.).

Людина підвищує природну родючість ґрунтів у процесі їх сільськогосподарського використання за допомогою добрив, обробітку, внесення меліорантів (вапно, гіпс та інші кальцієвмісні сполуки), зрошення, осушення, сидерації, сівозмін і т. ін. Поліпшення водно-повітряного й поживного режимів, агрофізичних, фізико-хімічних, агрохімічних властивостей, біологічної активності ґрунту суттєво підвищує його родючість.

На сучасному етапі розвитку суспільства перед землекористувачами стоїть завдання не просто відновлення ґрунтової родючості, а розширеного її відтворення в процесі окультурювання ґрунту.

Оскільки різні рослини потребують різних умов і неоднаково можуть використовувати природну родючість ґрунту, окультурювання повинно сприяти зміні важливіших агрономічних властивостей ґрунту та встановленню оптимального взаємовідношення між ґрунтом і головною екологічною групою вирощуваних на ньому культур.

Для ефективного окультурювання ґрунтів і підвищення їх родючості необхідно застосовувати цілий комплекс заходів, які повинні бути чітко узгоджені з особливостями кожного ґрунту і кожного поля. Головне – усунути негативну дію факторів, що лімітують родючість ґрунту. Так, для підзолистого типу ґрунту основними заходами є вапнування, внесення органічних добрив, травосіяння, сидерація і т. ін.; для чорноземів – заходи з накопичення і збереження ґрунтової вологи та захисту їх від ерозійних процесів; для каштанових солонцюватих ґрунтів – гіпсування і вологонакопичення; для перезволожених – осушення; для торф'яних – підвищення ущільненості тощо.

#### ***4.5. Закон «спадаючої родючості ґрунтів», його критика***

Вчення про ґрунтову родючість склалося в процесі розвитку вчення про земельну ренту. Другим аспектом, у якому розвивалося це вчення, була боротьба з мальтузіанською «теорією»

народонаселення і законом спадаючої родючості ґрунту, сформульованих у 18 ст. французьким економістом А. Тюрго у книзі «Роздуми про створення та розподіл багатств» (1766 р.). Згідно із зазначеним законом, кожне вкладання праці і засобів виробництва на одній і тій самій ділянці землі дає все меншу і меншу прибавку врожаю.

«Теорія» мала багато прибічників на початку 20 ст. і в Україні та Росії, оскільки за її допомогою можна пояснити причини зuboжіння людей, затушовуючи при цьому роль соціальних умов. Але закон спадаючої родючості ґрунту має лише відносне й умовне застосування до тих випадків, коли техніка, засоби виробництва залишаються без змін. Головною тезою його прибічників є лише відносне й умовне застосування до вказаних випадків; воно зводиться до того, що якби наступні вкладення праці і капіталу до землі давали не зменшену, а однакову кількість продукту, тоді навіщо було би взагалі розширяти площі, які обробляються. Якщо ж збільшення фактору родючості ґрунту супроводжується, завдяки розвитку науки і техніки, підвищенням технічного рівня у сільському господарстві, то закон спадаючої родючості ґрунту зовсім не справджується в тих випадках, коли техніка прогресує, коли засоби виробництва поліпшуються.

### ***Контрольні питання***

1. *Що таке родючість ґрунту?*
2. *Назвіть категорії та форми родючості ґрунту.*
3. *Чим визначається рівень природної родючості ґрунту?*
4. *Назвіть фактори врожаю. В чому їх взаємозв'язок?*
5. *Дайте порівняльну оцінку родючості основних зональних типів ґрунтів.*
6. *Назвіть суть та мету окультурювання ґрунтів.*
7. *Закон «спадаючої родючості ґрунтів» та його критика.*

*Навчальне видання*

**Іван Степанович Смага,  
Василь Романович Черлінка,  
Юрій Михайлович Дмитрук**

**ЗЕМЛЕРОБСТВО.  
Фактори життя рослин і родючість ґрунту**

*Навчальний посібник*

Відповідальний за випуск	<i>Дмитрук Ю. М.</i>
Літературний редактор	<i>Лукул О. В.</i>
Комп'ютерний набір і верстка	<i>Черлінка В. Р.</i>
Технічна редакторка	<i>Віщак Ю. С.</i>

Підписано до друку 26.08.2022. Формат 60x84/16.

Папір офсетний. Друк різнографічний.

Умов.-друк. арк. 7,5. Обл.-вид. арк.7,0. Зам. Н-091.

Видавництво та друкарня Чернівецького національного університету.

58002, Чернівці, вул. Коцюбинського, 2.

e-mail: ruta@chnu.edu.ua

*Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК No 891 від 08.04.2002*